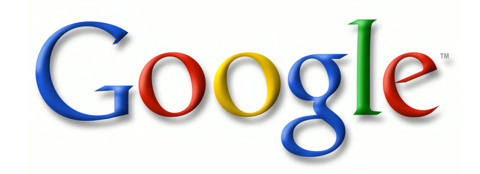


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

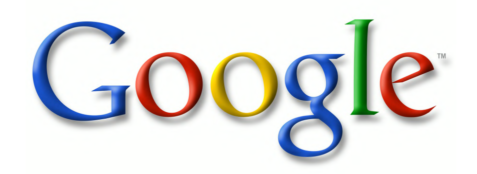
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.



Elektro-Technische
BIBLIOTHEK
Elemente
der Elektrizität
und Elektrotechnik
für Bergleute.

Eng 4009 25

Sci 1-309.05



Harvard College Library

BOUGHT WITH THE INCOME

FROM THE BEQUEST OF

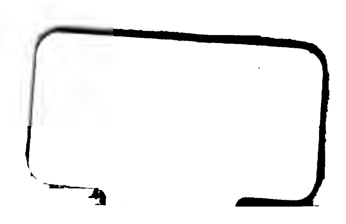
PROF. JOHN FARRAR, LL.D.

AND HIS WIDOW

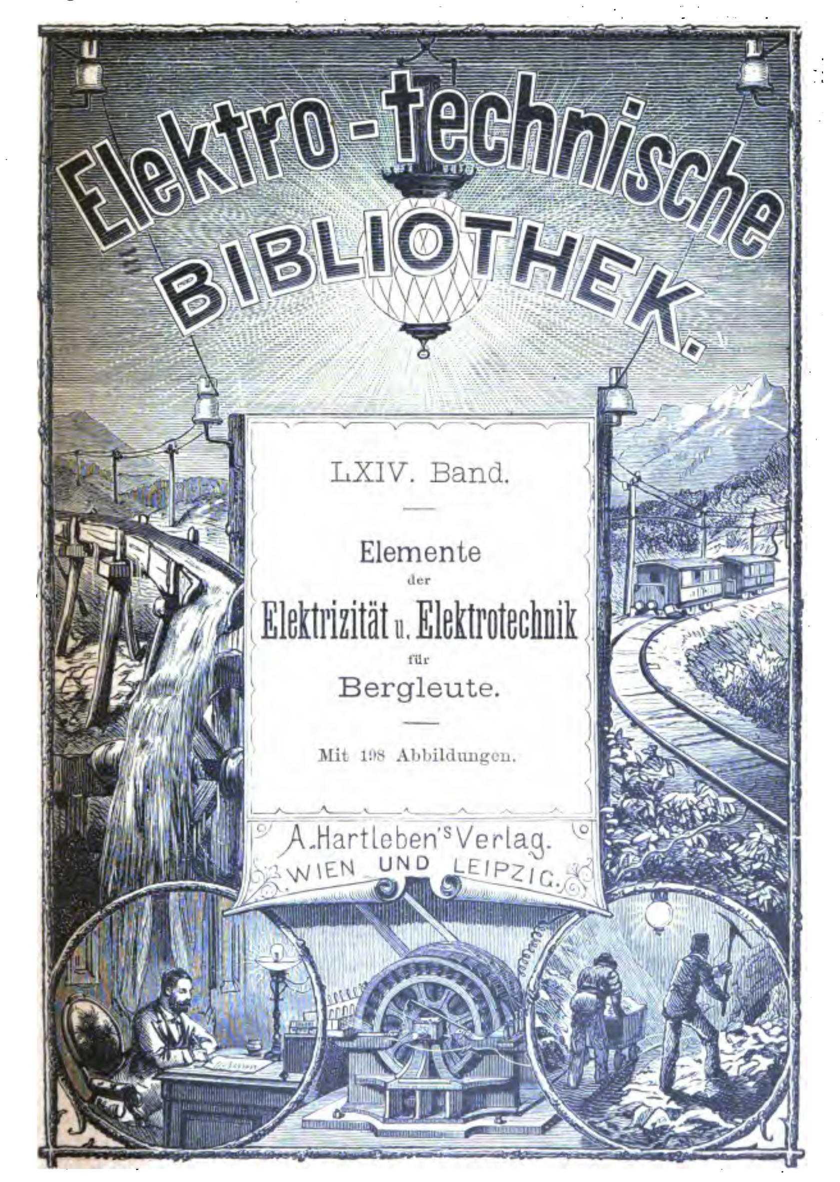
ELIZA FARRAR

FOR

"BOOKS IN THE DEPARTMENT OF MATHEMATICS, ASTRONOMY, AND NATURAL PHILOSOPHY"



4415


Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
LXIV. Band.
Elemente
der
Elektrizität u. Elektrotechnik
für
Bergleute.
Mit 198 Abbildungen.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN UND LEIPZIG.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrierten Bänden geheftet à 3 *K* 30 *h* = 3 Mark, geb. à 4 *K* 40 *h* = 4 Mark.
Ab Band 57 kostet jeder Band geh. 4 *K* 40 *h* = 4 Mark, geb. 5 *K* 50 *h* = 5 Mark.

INHALT DER SAMMLUNG:

1. Band. Glaser-De Cew. Die dynamo-elektrischen Maschinen. Ihre Geschichte, Grundlagen, Konstruktion und Anwendungen. 6. Aufl., bearb. von Dr. F. Auerbach. — 2. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Verteilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. 3. Aufl. — 3. Band. Das elektrische Licht. Von Dr. A. v. Urbanitzky. 4. Aufl. — 4. Band. Die galvanischen Batterien, Akkumulatoren und Thermosäulen. Eine Beschreibung der hydro- und thermo-elektrischen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck. 4. Aufl. — 5. Band. Die Verkehrs-Telegraphie, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack. — 6. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Theodor Schwartze. 3. Auflage. — 7. Band. Die Elektrolyse, Galvanoplastik u. Reinmetallgewinnung, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Eduard Japing. 2. Aufl. — 8. Band. Die elektrischen Mess- u. Präzisions-Instrumente. Ein Leitfaden der elektrischen Meßkunde. Von A. Wilke. 2. Aufl. — 9. Band. Die Grundlehren der Elektrizität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. 3. Aufl. — 10. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, franz. und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech. — 11. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen, mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. v. Urbanitzky. 3. Aufl. — 12. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohlfürst. — 13. Band. Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie. Von Dr. A. Tobler. — 14. Band. Die Haus- u. Hotel-Telegraphie. Von O. Canter. 2. Aufl. — 15. Band. Die Anwendung der Elektrizität für militärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter. 2. Aufl. — 16. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias. 2. Aufl. — 17. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Jos. Krämer. — 18. Band. Die Elektro-Technik in der prakt. Heilkunde. Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski. — 19. Band. Die Spannungs-Elektrizität, ihre Gesetze, Wirkungen und technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger. — 20. Band. Die Weltliteratur der Elektrizität und des Magnetismus, 1860—1883. Von Gustav May. — 21. Band. Die Motoren der elektr. Maschinen mit Bezug auf Theorie, Konstruktion und Betrieb. Von Theodor Schwartze. — 22. Band. Die Generatoren hochgespannter Elektrizität. Von Prof. Dr. J. G. Wallentin. — 23. Band. Das Potential und seine Anwendung zur Erklärung elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — 24. Band. Die Unterhaltung und Reparatur der elektr. Leitungen. Von J. Zacharias. — 25. Band. Die Mehrfach-Telegraphie auf Einem Drahte. Von A. E. Granfeld. — 26. Band. Die Kabeltelegraphie. Von Max Jüllig. — 27. Band. Das Glühlicht, sein Wesen und seine Erfordernisse. Von Etienne de Fodor. — 28. Band. Geschichte der Elektrizität. Von Dr. Gust. Albrecht. — 29. Band. Blitz und Blitz-Schutzvorrichtungen. Von Dr. A. v. Urbanitzky. — 30. Band. Die Galvanostegie mit besonderer Berücksichtigung der fabriksmäßigen Herstellung von Metallüberzügen. Von Josef Schaschl. — 31. Band. Die Technik des Fernsprechwesens. Von Dr. V. Wietlisbach. — 32. Band. Die elektro-technische Photometrie. Von Dr. Hugo Krüss. — 33. Band. Die Laboratorien der Elektro-Technik. Von Aug. Neumayer. — 34. Band. Elektrizität und Magnetismus im Altertume. Von Dr. A. v. Urbanitzky. — 35. Band. Magnetismus u. Hypnotismus. Von G. W. Gessmann. 2. Aufl. — 36. Band. Die Anwendung der Elektrizität bei registrierenden Apparaten. Von Dr. Ernst Gerland. — 37. Band. Elektrizität und Magnetismus als kosmotellurische Kräfte. Von Dr. Theodor Hoh. — 38. Band. Die Wirkungsgesetze der dynamo-elektr. Maschinen. Von Dr. F. Auerbach. — 39. Band. Materialien für Kostenvoranschläge elektr. Lichtanlagen. Von Etienne de Fodor. — 40. Band. Die Zeittelegraphen und die elektr. Uhren vom praktischen Standpunkte. Von Ladislaus Fiedler. — 41. Band. Die elektrischen Motoren, mit besonderer Berücksichtigung der elektrischen Straßenbahnen. Von Etienne de Fodor. — 42. Band. Die Glühlampe. Ihre Herstellung und Anwendung in der Praxis. Von J. Zacharias. — 43. Band. Die elektrischen Verbrauchsmesser. Von Etienne de Fodor. — 44. Band. Die elektrische Schweißung und Lötung. Von Etienne de Fodor. — 45. Band. Die elektrischen Akkumulatoren und ihre Verwendung in der Praxis. Von J. Sack. — 46. Band. Elektrizität direkt aus Kohle. Von Etienne de Fodor. — 47., 48., 49. und 50. Band. Angewandte Elektrochemie. In 4 Bänden. Von Dr. Franz Peters. 1. Band. Die Primär- und Sekundär-Elemente. 2. Band. I. und II. Abtlg., Anorganische Elektrochemie. 3. Band. Organische Elektrochemie. — 51. und 52. Band. Materialistisch-hypothetische Sätze und Erklärung des Wesens und der Kraftäußerungen des elektrischen Fluidums. In zwei Bänden. Von Dr. F. Ph. Stögermayr. — 53., 54., 55. und 56. Band. Elektrometallurgie und Galvanotechnik. Ein Hand- u. Nachschlagebuch für die Gewinnung und Bearbeitung der Metalle auf elektrischem Wege. In vier Bänden. Von Dr. Fr. Peters. — 57. Band. Elektrische Straßenbahnen. Von Johannes Zacharias. — 58., 59., 60., 61. Band. Wechselstromtechnik. Von M. T. Zsakula. In vier Bänden: I. Band. Der einphasige Wechselstrom. II. Band. Mehrphasige Wechselströme und Wechselstromsysteme. III. Band. Wechselstromgeneratoren. IV. Band. Wechselstromtransformatoren und Wechselstrommotoren. — 62. Band. Die elektrische Bühnen- und Effektbeleuchtung. Von Dr. Th. Weil. — 63. Band. Kathoden- und Röntgenstrahlen. Von Dr. Friedrich Neesen. 64. Band. Elemente der Elektrizität und Elektrotechnik für Bergleute. Von V. Kadainka.

A. Hartleben's Verlag in Wien und Leipzig.



Elemente
der
Elektrizität und Elektrotechnik

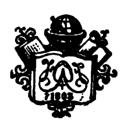
für Bergleute.

Wesen der Elektrizität, Elektrotechnik und der wichtigsten Maschinen und Apparate.

Von

Viktor Kadainka
Bergbau-Ingenieur.

Mit 198 Abbildungen.



Wien und Leipzig.
A. HARTLEBEN'S VERLAG.
1905.

Alle Rechte vorbehalten

Eng 4009.05

HARVARD COLLEGE
DEC 6 1905
LIBRARY.

Farrar Fund
(64)

K. u. k Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

Vorwort.

Der Bergbau hat ich innerhalb der letzten Jahre die Vorteile der Elektrizität in hohem Maße angeeignet und die Anwendung derselben für dessen Zwecke ist eine so mannigfache, daß wir uns heutzutage einen größeren und modernen Bergwerksbetrieb ohne Elektrizität gar nicht vorstellen können.

Es ergibt sich also neben anderen Betrieben und Hilfsbetrieben auch ein elektrischer Betrieb, der wie der Kesselbetrieb, Dampfmaschinenbetrieb etc. eigens geschulte Leute erheischt. Es bestehen für den Dampfkessel- und Dampfmaschinenbetrieb gesetzliche Vorschriften, die in erster Linie auf die Sicherheit, besonders des menschlichen Lebens, Rücksicht nehmen. Der die Maschine Bedienende hat sich einer gesetzlichen Prüfung zu unterziehen, durch die er darlegen muß, daß er das Wesen der ihm anvertrauten Maschine beherrscht und sich der Folgen bewußt ist, die irgend eine Vernachlässigung nach sich ziehen könnte und daß er bei Betriebsstörungen augenblicklich Rat weiß und dem Übelstande in kürzester Zeit abzuhelfen vermag. Einem geübten Maschinisten genügen manchmal schon ganz unbedeutende Anzeichen zur Beurteilung, sowie zur rechtzeitigen Vermeidung einer größeren Betriebsstörung, Anzeichen, die dem weniger Geübten sehr oft entgehen und der des Mangels oder Fehlers erst dann gewahr wird, wenn die Störung bereits eingetreten ist.

Für elektrische Betriebe bestehen ebenfalls eine Menge allgemeiner Vorschriften, die bei kommissionellen Erhebungen, Kollaudierungen etc. zu speziellen Vorschriften von Fall zu Fall benutzt werden. Es ist dann erst Sache des betreffenden Werkleiters, seine Mannschaft nach diesen Vorschriften nicht einzuschulen, sondern nur einzudrillen. Der Mann führt die einzelnen mechanisch eingelernten Manipulationen bei der elektrischen Maschine sonst sehr gewissenhaft und präzise aus, aber er weiß nicht, warum er sie so ausführt, und bei der geringsten Unregelmäßigkeit im Betriebe steht der Mann ratlos da und macht in seiner Verblüfftheit und Überraschung die Sache oft noch schlimmer. Bei der Neuheit des Gegenstandes ist derselbe noch nicht so recht in Fleisch und Blut übergegangen, wie beispielsweise der Dampfkessel- und Dampfmaschinenbetrieb, denn es fehlt sehr häufig an der Kenntnis der fundamentalsten Lehrsätze; so ist es mir sehr häufig bei sonst intelligenten Betriebsaufsehern, die auch mit dem elektrischen Betriebe zu tun hatten, vorgekommen, daß sie der festen Ansicht waren, der elektrische Strom bei einer Dynamomaschine entstehe durch Reibung der Bürsten am Kollektor!

Um also speziell in unserem Fache geschulte Leute zu haben, will ich den bescheidenen Versuch machen, über die Elektrizität und deren Betrieb eine Art Lesebuch darzubieten, damit Betriebsbeamte und Bedienungsmannschaft Gelegenheit haben, in das scheinbar geheimnisvolle Wesen der Elektrizität einzudringen, sich in dem Gebiete der Elektrotechnik in elementarer Hinsicht zuverlässig zu unterrichten, um auf diese Weise schadlos für sich und andere, sowie im Interesse des Werkes selbst mit den elektrischen Einrichtungen hantieren zu können. Wie in jedem Lesebuche das Not-

wendigste für eine allgemeine Bildung zusammengetragen ist, damit der Lesende die fundamentalen Begriffe der verschiedenen Naturgegenstände und Naturerscheinungen kennen lerne, auf Grund welcher er erst sich weiter ausbilden soll, so ist auch der Zweck dieses „Lesebuches über Elektrizität", dem Leser die Hauptbegriffe derselben in einer möglichst einfachen faßlichen Weise ins Gedächtnis zu bringen. Aus diesem Grunde habe ich mich auf keine Beschreibung von Spezialkonstruktionen eingelassen.

Die Herren Kollegen, die bisher noch nicht Gelegenheit hatten, sich mit der Elektrizität eingehend zu befassen, mögen dieses Büchlein zu ihrem Vorteil lesen. In der hier wiedergegebenen Art und Weise habe ich für mein bescheidenes Wissen die erforderlichen Begriffe gesammelt, und es wäre mir ein außerordentliches Vergnügen zu hören, daß diese Zeilen wenigstens bei einem größeren Teil der Herren Kollegen das richtige Fundament zu einer weiteren sachgemäßen Ausbildung in diesem unseren Betriebszweige geschaffen haben. Vor Jahren war ich selbst noch Laie; heute gereicht es mir zur Genugtuung, durch eigene Arbeit einen solchen Überblick über diesen Betriebszweig erworben zu haben, der es mir (auf Grund eines Prüfungszeugnisses) gestattet, als Sachverständiger für Montan-Elektrotechnik von den kompetenten Behörden anerkannt zu sein.

In der elektrotechnischen Literatur gibt es eine große Auswahl an einschlägigen Werken. Die heutzutage starke und vielseitige Inanspruchnahme der Betriebsbeamten erfordert zwar einerseits die ausgedehnteste technische Bildung, verhindert aber anderseits, das für das praktische Wissen Brauchbare sich rasch anzueignen. Mit Aufwand von wenig Zeit nur das Nötige und doch soviel zu lernen, ist das Hauptziel, und dieses

schwebte mir auch bei Verfassung dieser Zeilen vor Augen. Berufskollegen fühlen die gegenseitigen Bedürfnisse am besten heraus.

Man bekommt manches ausgezeichnete Werk in die Hand; die Eile des Praktikers aber läßt es nicht zu, sich ruhig in dasselbe zu vertiefen und da auch der Inhalt entweder zu umfangreich oder stark theoretisch ist, stellt sich bald Unlust und Ungeduld ein, und das begonnene Studium wird aufgegeben. In Ermanglung der elementaren Kenntnisse wird dann dem elektrischen Betriebe oft mit großem Mißtrauen und Vorurteil entgegengesehen.

Einige Stellen sind zwar sehr elementar gehalten, und dürften das akademische Gefühl höherer Ausbildung bei manchem Herrn Kollegen unangenehm berühren. Ich bin aber zu der Überzeugung gelangt, daß es durchaus nicht schadet, mit einer Sache manchmal vom Grunde aus zu beginnen. Erinnern wir uns nur an die herrlichen Erzählungen Smiles, in denen ein berühmter Architekt viele Jahre in Griechenland dem Studium widmet, um nach seiner Rückkehr in die Heimat seine später so ruhmvolle Laufbahn mit dem eigenhändigen Reparieren von Dächern zu beginnen! Wollen wir uns den Spruch des berühmten Walter Scott zu eigen machen: Stets habe ich auf meiner Lebensbahn gefühlt, wie mir meine Unkenntnis peinlich war.

Glück auf!

Der Verfasser.

Elektrizität.

Was ist Elektrizität? Diese Frage zu beantworten haben wir bisher noch nicht vermocht. Am besten stellt man sich die Elektrizität als etwas unsichtbar Flüssiges vor, ungefähr wie den Dampf oder das Wasser. Diese beiden fließen infolge eines Überdruckes in Röhren, die Elektrizität auf der Oberfläche des Drahtes. Vom praktischen Standpunkte aus betrachtet, ist in der Fortbewegung des Dampfes von der Erzeugungsstelle (d. i. vom Kessel) zur Dampfmaschine einerseits, sowie in der Fortbewegung der Elektrizität von der Stromquelle (d. i. von der Dynamomaschine, vom galvanischen Element oder vom Akkumulator) anderseits gar kein Unterschied. Der beim Kessel- und Dampfmaschinenbetrieb verwendete Stoff, der in Dampfform durch Überdruck aus dem Kessel weiter getrieben wird, ist das Wasser. Dasselbe muß aus einem Fluß, Brunnen oder ähnlichem mittels einer Speisepumpe in den Kessel gelangen, wo es in Dampf verwandelt wird und durch die Rohrleitung in die Dampfmaschine und nach verrichteter Arbeit hinter dem Kolben in die freie Luft strömt. Aus dieser gelangt es als Regenwasser wieder in unseren Fluß oder Brunnen und wandert wieder durch die Speisepumpe in den Kessel zurück usf.

Noch deutlicher sehen wir bei modernen Dampfmaschinenanlagen die Wanderung, den Kreislauf des Wassers, nämlich bei Anlagen mit sogenannter Zentralkondensation. Der ausgepuffte Dampf wird durch Kühlung wieder zu Wasser gemacht, welches durch einen anderen Rohrstrang vermittels der Speisepumpe abermals in

den Kessel gelangt. Es ist hier also eine deutliche Hin- und Rückleitung zu unterscheiden; eine Hinleitung aus dem Kessel in die Dampfmaschine und eine Rückleitung von der Dampfmaschine durch den Kondensator in den Kessel. Man kann hier also deutlich einen geschlossenen Stromkreis wahrnehmen. In Bewegung wird dieser geschlossene Stromkreis durch die verbrennende Kohle erhalten; hört man auf zu heizen, so bleibt der Dampfkreis stehen und mithin auch unsere Dampfmaschine.

Denselben sich fortwährend wiederholenden Kreislauf finden wir nun bei der Elektrizität. In der Dynamomaschine wird der elektrische Strom erzeugt, kommt durch den einen Draht, der von der positiven (+) Klemme wegführt in den Verbrauchsapparat, z. B. in den Motor (beim Dampfbetrieb ist es die Dampfmaschine) und geht durch einen anderen Draht wieder in die Dynamomaschine zur negativen (—) Klemme zurück. Sowie beim Dampfmaschinenbetrieb die treibende Kraft die brennende Kohle ist, so ist hier die treibende Kraft die Dampfmaschine, Turbine usw.; bleibt diese stehen, so hört auch der elektrische Strom zu fließen auf und unser Motor arbeitet nicht, unsere Lampen leuchten nicht. Wie wir bei Auspuffmaschinen für die Rückleitung des Wassers (das ist nämlich der wieder zu Wasser gewordene Dampf) die Erde benutzen, so ist es auch bei einigen elektrischen Apparaten, z. B. bei Telegraphen üblich, die Rückleitung der Elektrizität durch die Erde zu besorgen.

Wie wir also aus dem Vorhergehenden ersehen können, läßt sich die Elektrizität ganz gut zum Zwecke des besseren Verständnisses vom Praktiker mit Dampf oder mit Wasser vergleichen. Dabei brauchen wir also gar nicht zu wissen, was Elektrizität ist; höchstens kann uns der Name selbst interessieren. Es wurde nämlich schon im Altertum, vor mehr als 2000 Jahren, die Beobachtung gemacht, daß mit einem Tuch geriebener Bernstein die merkwürdige Eigenschaft besitzt, leichte Körperchen, wie beispielsweise Hollundermark oder Seidenpapierschnitzeln, anzuziehen und darauf gleich

wieder abzustoßen. Da Bernstein griechisch „Elektron" hieß, so wurden die Eigenschaften desselben im geriebenen Zustande als „Elektrizität" bezeichnet.

Zum Vergleiche des Dampf- und elektrischen Stromkreises siehe die Fig. 1 u. 2.

Zum Studium der Elektrizität hat man im 16. und 17. Jahrhundert, besonders um größere Mengen von derselben zu erhalten, verschiedene Reibungs-Elektrisiermaschinen angefertigt. Als man imstande war, einen größeren sichtbaren elektrischen Funken zu erzielen und den Blitz zu erklären, war der Verwunderung und des Aufsehens kein Ende, so daß man auch verschiedene andere Erscheinungen dieser neu entdeckten Naturkraft zuschrieb. Beinahe jeder Gelehrte jener Zeit war in diese geheimnisvolle Tochter der Natur vernarrt; in vielen Gelehrtenstuben wurden Apparate angefertigt und wurde leidenschaftlich, mit jugendfrischem Eifer experimentiert. Die Versuche wurden häufig auch vor den höchsten gekrönten Häuptern vorgeführt und der Vortragende mit Auszeichnungen geschmückt und belohnt. Diese Maschinen erreichten ihre Vollendung durch Wimshurt, welcher im Jahre 1883 die sogenannte Influenz-Elektrisiermaschine konstruierte.

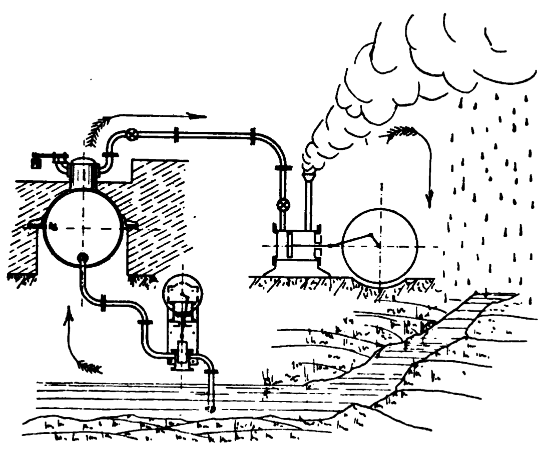


Fig. 1.

Die von diesen Maschinen erzeugte Elektrizität fließt jedoch nicht stetig, sondern kann nur in einzelnen Funken zur Wirkung gelangen. Da sie erst auf so-

genannten Konduktoren (Sammlern) angehäuft werden muß, um dann in Form eines Funkens zur Wirkung zu gelangen, so heißt sie die statische Elektrizität, und weil diese Art Erzeugung keinen kontinuierlichen, das ist keinen ununterbrochenen Strom liefert, so hat diese Art von Apparaten keine technische Bedeutung errungen und erst die Entdeckungen durch Luigi Galvani und Alessandro Volta auf dem Gebiete des Galvanismus, wodurch wir imstande sind, einen stetigen Strom zu erzeugen, sowie diejenige des Elektromagnetismus durch Oerstedt haben dem Studium der Elektrizität eine neue Bahn angewiesen und die ersten Grundsteine zu dem heute so imposanten Gebäude der Elektrotechnik gelegt. Wie gesagt, die Grundsteine waren gelegt und nun begann eine Reihe tüchtiger Baumeister nebeneinander an dem großen Gebäude zu bauen.

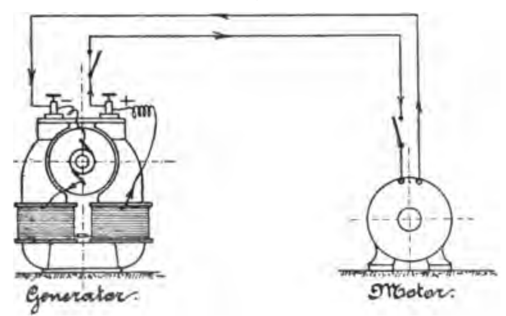


Fig. 2.

Vor allen anderen war es der geniale Faraday (1791-1867), welcher die Gesetze der magnet-elektrischen Induktion feststellte. Michael Faraday war der Sohn eines Schmiedes bei London und trat in seinem 13. Lebensjahre als Gehilfe in eine Buchhandlung und Buchbinderei ein. Er lenkte infolge seiner Begabung und seines Fleißes auf dem Gebiete der Naturforschung bald die Aufmerksamkeit des Gelehrten Davy auf sich, so daß er in seinem 22. Lebensjahre als Assistent in das Laboratorium des „Königlichen Institutes" in London einberufen wurde. Sein fundamentales Werk trägt die Benennung: „Experimentelle Erforschungen auf dem Gebiete der Elektrizität".

Gleichzeitig stellte Gauss die unbedingt notwendigen Maßeinheiten, das sogenannte absolute Maß-

system fest und Ohm stellte das wichtige Grundgesetz auf, das die drei charakteristischen Größen in innigen Zusammenhang bringt, nämlich:

1. Die Menge des elektrischen Stromes oder die Intensität.

2. Die den Strom fortbewegende, treibende Kraft oder anders elektromotorische Kraft genannt.

3. Den galvanischen Widerstand, den ein Strom in einem Leiter erfährt.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts feierte endlich die Elektrizität infolge der genialen Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzipes durch Werner Siemens einen glänzenden Einzug aus den Laboratorien ins praktische Leben und beginnt von dieser Zeit an eine neue Lehre, nämlich die **Lehre von der Elektrotechnik.** Mit den Grundgesetzen derselben vertraut zu werden, ist die nächste, wichtigste Aufgabe!

Galvanismus.

Galvanische Elemente.

Diese haben ihre Benennung nach einem italienischen Arzt, Namens Galvani. Wenn zwei verschiedene Metalle, beispielsweise Zink und Kupfer, in ein Gefäß mit angesäuerter Flüssigkeit getaucht werden, so entsteht ein elektrischer Strom; die in die Flüssigkeit eingetauchten Metallplatten nennt man Elektroden und zwar bildet Zink die negative, Kupfer, Kohle usw. die positive Elektrode.

Die Bezeichnung positiv und negativ ist durch Vereinbarung bestimmt, und zwar heißt der aus einer Stromquelle heraustretende Strom der positive, der in dieselbe wieder zurückkehrende Strom der negative.

Ein solches oben beschriebenes Gefäß mit einer sauren Flüssigkeit und mit den beiden Elektroden heißt nun ein galvanisches Element oder kurzweg Element.

Es gibt nun eine ganze Reihe verschiedener Elemente, die für verschiedene Zwecke verwendet werden.

In unserer Praxis wird am meisten das sogenannte Leclanché-Element verwendet. Es besteht aus einem viereckigen Glasgefäß mit rundem Hals, der eine Ausbuchtung trägt, in welcher ein ca. 1 *cm* dicker Zinkstab Platz findet, an dessen oberem Ende ein Stück Kupferdraht angelötet ist. Bei neueren und großen Elementen wird an Stelle des Zinkstabes ein der Länge nach geschlitzter Zylinder verwendet. Ferner taucht in das Glasgefäß ein Tonzylinder, aus dem eine Kohlenplatte herausragt; diese steckt in dem Tonzylinder bis zum Boden und ist in demselben von kleinen Braunsteinstücken umgeben. Damit Platte und Braunstein in dem Tonzylinder gut halten, ist derselbe oben auf ca. 3 *cm* mit Pech vergossen. Füllt man nun noch das Glas bis ungefähr zu drei Viertel seiner Höhe mit einer Salmiaklösung, so ist das Leclanché-Element fertig. Es wäre noch zu bemerken, daß jeder Tonzylinder seitwärts je eine kleine Öffnung unten und oben hat, damit durch die untere Öffnung die Salmiaklösung zum Braunstein und zur Kohlenplatte gelangen, und damit durch die obere Öffnung Luft in den Zylinder eintreten kann. Es darf daher in dem Glasgefäß die Salmiaklösung nie über die obere Öffnung reichen. An der herausragenden Kohlenelektrode ist eine Klemme angebracht, an die man den Leitungsdraht anschließen kann.

Haben wir nun mehrere solcher Elemente notwendig, so verbinden wir sie gewöhnlich hintereinander, d. h., die Kohlenklemme des ersten Elementes verbindet man mit dem Zinkpol des zweiten Elementes, die Kohlenklemme des zweiten Elementes mit dem Zinkpol des dritten Elementes usf., so daß wir in der so verbundenen Elementenkette einen Zinkpol beim ersten und einen Kohlenpol beim letzten Element frei haben. Eine derartige Verbindung von mehreren Elementen hintereinander nennt man eine Batterie (Fig. 3). Werden nun die freibleibenden Pole mittels eines Drahtes verbunden, so fließt ein elektrischer Strom, und zwar von der Kohle durch den Draht zum Zink und von diesem durch die Salmiaklösung, Tonzelle usw. wieder zur Kohle zurück.

Anwendung finden diese Elemente beim Telegraphen und Telephon. Uns wird jedenfalls nur der sogenannte Haustelegraph interessieren, d. i. die bekannte elektrische Glocke oder die sogenannte Hausklingel. Soll die Klingel von dem fließenden elektrischen Strome betätigt werden, so muß sie natürlich in diesen Stromkreis eingereiht sein; doch würde dieselbe auch dann in Tätigkeit bleiben, wenn wir es nicht wünschen. Um also die Klingel nach Belieben ertönen zu lassen, ist es notwendig, einen Schalter oder Taster in die Leitung einzureihen, gerade so wie bei einer Dampf-

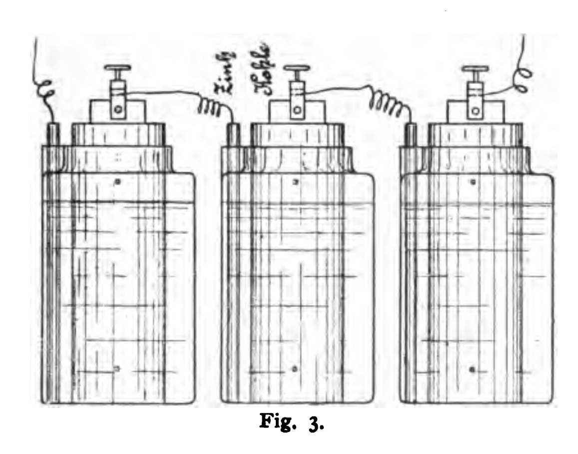


Fig. 3.

maschine, Dampfpfeife usw. ein Ventil oder ein Hahn sein muß.

Fig. 4 führt uns einen solchen Taster vor, wie er sich am besten für das Schachthaus eignet, um von da aus ins Fördermaschinenhaus zu signalisieren.

Ein Metallhebel *h*, der in der Mitte um einen Bolzen beweglich ist, hat an dem einen Ende eine Platinspitze *s*, die beim Andrücken an den Knopf *K* den Amboß *a* berührt; der elektrische Strom geht in diesem Augenblicke durch den Draht *d*, durch die linke Seite des Hebels, durch die Spitze *s*, den Amboß *a* und den mit ihm verbundenen Draht d_1 weiter zur Klingel. Hört

man auf, den Knopf niederzudrücken, so wird der Hebel durch die Feder *f* wieder zurückgeschnellt, so daß Spitze und Amboß außer Berührung, oder wie man in der Elektrotechnik sagt, außer Kontakt gebracht werden, und der Strom hört auf zu fließen. Mittels der Stellschraube *S* kann man die Entfernung der Spitze vom Amboß nach Belieben einstellen.

Nun ist es noch notwendig, die Frage zu beantworten, wie eine solche Batterie zu behandeln sei, damit sie ordentlich funktioniere?

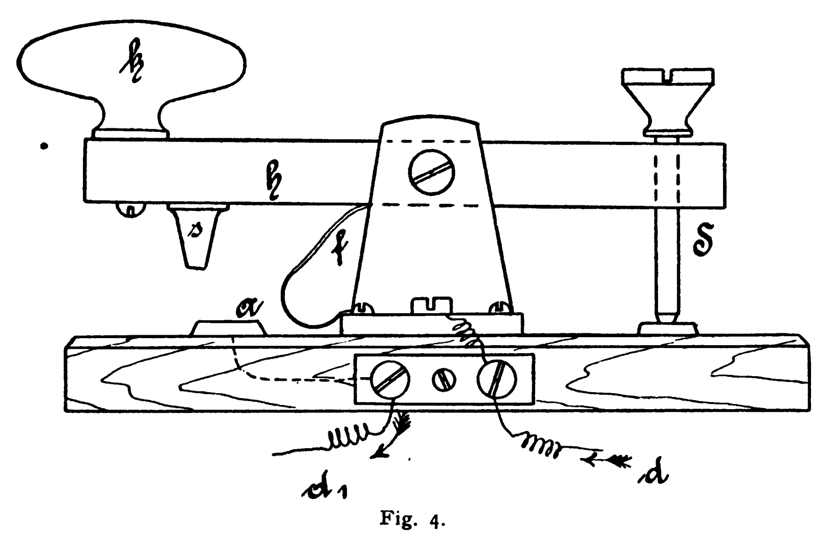


Fig. 4.

Nach den vorhergegangenen Erläuterungen wird jedes Element für sich hergestellt, das Glas nach dem Eingießen der Salmiaklösung von außen und am Oberrand bis zur vollständigen Trockenheit gut abgewischt und der Glasrand auf ungefähr 1 *cm* Breite mit Vaselin mäßig eingefettet. Die Elemente der Batterie sind in einem passenden Holzkasten so aufzustellen, daß sie sich gegenseitig und auch die Holzwände nicht berühren, sohin nach jeder Seite ein mindestens 1 *cm* freier Spielraum bleibt. Man vermeide auch, Flüssigkeit auf den Boden

des Kastens auszuschütten, damit die Gläser nicht in Feuchtigkeit stehen. Die Batterie wird nun mit ihrem Kasten, der gut geschlossen sein soll, auf irgend einer passenden, nicht feuchten Stelle, aufgehängt oder aufgestellt. Man sieht dann nochmals nach, ob die einzelnen Elemente miteinander gut verbunden sind; dabei merke man sich gleich für die Hinkunft eine sehr wichtige praktische Regel:

Alle Verbindungen, die zur Weiterleitung der Elektrizität dienen, müssen an den Berührungsflächen metallisch rein sein!



Fig. 5.

Es muß daher ein Leitungsdraht, der in einer Klemme festgeklemmt werden soll, vorerst an seinem Ende von der Isolation befreit und dann mit dem Messer oder mit Schmirgelleinen glänzend rein gemacht werden; denn wie wir später hören, setzen solche unreine Berührungsstellen dem Durchgange der Elektrizität einen großen Widerstand entgegen, so daß dann gar keiner oder nur ein schwacher Strom fließt.

Die Erhaltung der Batterie ist eine sehr einfache. Von Zeit zu Zeit, vielleicht in sechs Wochen einmal, schaut man im Batteriekasten nach, ob nicht in den Gefäßen zu wenig Flüssigkeit vorhanden ist; ist dies der Fall, so gießt man etwas reines Wasser nach.

„Kriecht" das Salz (der aufgelöste und wieder ausgeschiedene Salmiak) über den Glasrand hinaus, so wird das Element herausgenommen, das feste Salz überall entfernt und gut abgewischt, reines Wasser nötigenfalls nachgegossen, der Glasrand wieder eingefettet und das Element wieder vorsichtig eingestellt. Grünspan an den Klemmen oder den Drähten der Zinkpole ist vorsichtig zu entfernen und die so gereinigten Stellen sind mit Schellack zu bestreichen. Mit verwundeten Händen ist die Entfernung des Grünspans höchst vorsichtig vorzunehmen, da derselbe giftig ist.

Hört die Batterie zu funktionieren auf, so nimmt man sämtliche Elemente heraus und sieht nach, ob die Zinkstäbe oder Zinkplatten, kurz die Zinkpole, nicht vielleicht schon zu stark aufgebraucht, d. h. „abgefressen" sind; wäre dies der Fall, so sind sie gegen neue auszutauschen. Sind sie hingegen noch stark genug und haben sie nur einen schwarzen Überzug, so ist dieser mit einem Schaber oder Schmirgelleinen wegzubringen, bis das Zink wieder blank ist. Weiters stellt man auf ca. eine halbe Stunde die Tongefäße in heißes Wasser, um sie auszuwaschen; dann werden sie auf ein Brett gestellt und dort so lange stehen gelassen, bis aus den kleinen Öffnungen kein Wasser mehr herauskommt. Die alte Flüssigkeit wird aus den Gläsern entfernt und frische Lösung eingeführt. Ist die Flüssigkeit jedoch noch nicht stark verunreinigt, so wird sie nur einfach bis auf die vorgeschriebene Höhe mit frischem Wasser versetzt und es werden dann in jedes Glas ungefähr drei Messerspitzen gewöhnliches Kochsalz eingeführt.

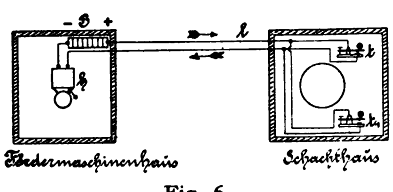


Fig. 6.

Gut aufbewahrte und richtig adjustierte derartige Batterien halten, ohne erneuert zu werden, viele Monate aus, wobei die Glocke (Klingel) Tag und Nacht während der Förderung im Betriebe ist.

Praktisches Beispiel. Es wurde für die Signalisierung aus dem Schachthaus ins Fördermaschinenhaus angeschafft: Der nötige 1 *mm* dicke, gut isolierte Kupferdraht; eine Batterie von fünf großen Elementen, eine kräftige Klingel (Fig. 5) und zwei Taster, wie wir einen solchen in der Fig. 4 kennen gelernt haben. Es wird nun die Aufgabe gestellt, diesen Telegraphen einzubauen; man soll imstande sein, sowohl vom Tagkranz, als auch von der Hängebank aus Signale ins Fördermaschinenhaus geben zu können. Vorerst werden wir die Taster so anbringen, daß der Abnehmer oder Anschläger bequem dieselben handhaben kann. Im Fördermaschinenhaus bringen wir in einer passenden Ecke oder auf der Wand die bereits in einem Kasten zusammengestellte und adjustierte Batterie an und befestigen womöglich in der Nähe des Maschinisten die Glocke.

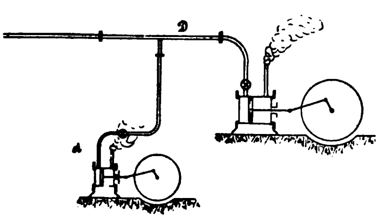


Fig. 7.

Nun wissen wir ja bereits, daß Batterie, Glocke und Taster sich in einem einzigen geschlossenen Kreise zu befinden haben; die Fig. 6 wird uns darüber näheren Aufschluß geben. Gehen wir von der positiven (+) Klemme der Batterie *B* aus und spannen den Draht bis ins Schachthaus zur einen Klemmschraube des Tasters *t* auf der Hängebank; nun gehen wir mit dem Draht von der anderen Klemme des Tasters zur einen Klemme der Glocke im Fördermaschinenhaus zurück. Wenn wir die übrig gebliebene zweite Glockenklemme mit der negativen (—) Klemme der Batterie *B* verbinden, so ist der Stromkreis hergestellt; drückt man nun auf den Taster, so muß die Glocke klingeln. Nun handelt es sich noch darum, auch den anderen am Tagkranz sich befindlichen Taster t_1 in den Stromkreis zu bringen.

Bevor wir daran gehen, wollen wir noch einmal zur Auffrischung des Gedächtnisses die uns mehr vertraute Dampfleitung zu Rate ziehen. In der Fig. 7

sehen wir eine, zu einer größeren Dampfmaschine führende Dampfleitung *D* skizziert; in derselben ist vor der Dampfmaschine ein Absperrventil. Sollen wir nun aus dieser großen Dampfleitung für die kleine Dampfmaschine *d* Dampf entnehmen, so wird es natürlich vor dem großen Absperrventil geschehen müssen; jeder der beiden Maschinen kann dann unabhängig von der anderen Dampf zugeführt, dieselbe also in Betrieb gesetzt werden. Ob nun eine oder die andere Maschine läuft, beidemal wird der Dampf einem und demselben Kessel entnommen.



Fig. 8.

Kehren wir nun zu unserer Fig. 6 zurück, so wird es uns nicht schwer fallen, den Taster t_1 in den Batterie-Stromkreis einzuschalten. Wir zweigen einfach vor dem Taster *t* von den Leitungsdrähten *l* an einer passenden Stelle mit zwei anderen Drähten ab. Auf welchen der beiden Taster man nun drücken mag, jedesmal wird Klingel, Batterie und der betreffende Taster einen geschlossenen Stromkreis bilden, was wir leicht in der Fig. 6 verfolgen können.

Eine jede solche Zeichnung oder Skizze, die uns angibt, wie Verbrauchsapparate und Stromquellen mit einander leitend zu verbinden sind, nennt man ein **Schaltungs-Schema.**

Verbrauchsapparate sind z. B.: Unsere Klingel, ferner Motoren, Transformatoren, Lampen, Volt- und Ampère-Meter etc. Stromquellen sind Dynamoma-

schinen, Akkumulatoren, galvanische Elemente etc. Ein anderes, meist in der Medizin verwendetes Element ist das Grenetsche Tauchelement.

Es kann vorkommen, daß der Werksarzt in seinem Kabinett für gewisse Heilzwecke einen elektrischen Apparat besitzt, in welchem sich eine Batterie von solchen Tauchelementen befindet, und da diese einer öfteren Pflege bedürfen, wollen wir uns auch mit einem solchen Element bekannt machen.

Das Tauchelement besteht aus einer Flasche mit bauchigem Unterteil und einem langen Hals; auf diesem ist eine gut schließende Kapsel befestigt, an der im Gefäß zwei Kohlenplatten hängen, zwischen denen auf

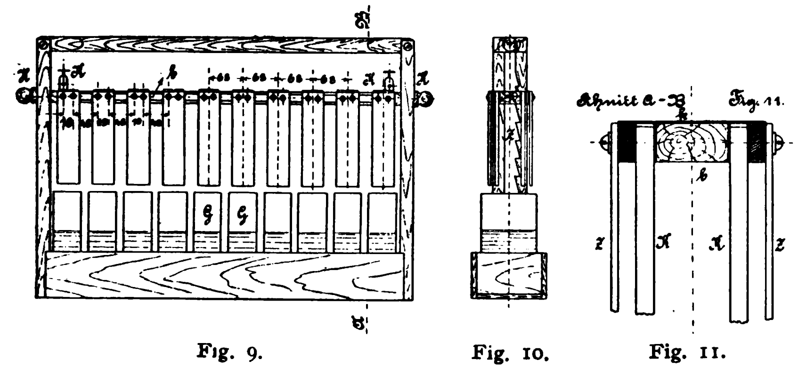


Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.

einem Stabe, der sich im Deckel mit Reibung verschieben läßt, eine Zinkplatte hängt. Es ist also die Zinkelektrode von den beiden Kohlenelektroden umschlossen. Als Flüssigkeit kommt in das Gefäß eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali (Kaliumbichromat) mit englischer Schwefelsäure. Nach Bunsen kommt in 1 *l* Wasser 92 *g* pulverisiertes Kaliumbichromat und 94 cm^3 englische Schwefelsäure. Die Lösung ist im frischen Zustande hell orangefärbig, wird aber nach einigem Gebrauch dunkelgrünlich und muß dann erneuert werden. Nach dem Gebrauch des Elementes ist jedesmal die Zinkplatte mittels des Stabes soweit heraufzuziehen, daß sie aus der Flüssigkeit herausragt, da sie sonst unnützerweise

zerfressen wird, auch wenn man dem Element keinen Strom entnimmt.

Die Tauchelemente geben für kurze Zeit sehr kräftige elektrische Ströme und sind daher für Privatversuche in Ermanglung anderer Stromquellen sehr willkommen. Wir können uns für diese Zwecke eine solche Tauchbatterie, wie sie in Laboratorien gebraucht wird, selbst anfertigen. Die Fig. 8 zeigt die Totalansicht, die Fig. 9 bis 11 die nötigen Details samt Maßen. Die Elektroden sind auf dem hölzernen Querbalken *b*, jede für sich vollständig isoliert, angeschraubt, und zwar so, daß auf jedes Element je 2 Zinkplatten *Z* und 2 Kohlenplatten *K* entfallen (Fig. 11). Mittels eines Kupferstreifens *k* sind nun je eine Zink- und Kohlenelektrode miteinander über dem Querbalken verbunden, so daß sie eigentlich immer je eine einzige Elektrode mit doppelter Oberfläche bilden. Die Verbindung der so erhaltenen Elektroden ist ebenfalls mittels Kupferstreifen hintereinander durchgeführt, daß immer die Kohlenplatten des einen Elementes mit den Zinkplatten des benachbarten Elementes mit einander verbunden sind; die äußersten Elektroden haben Klemmen *K*, an die man die Leitungen anschließen kann. Mittels der am Querbalken angebrachten Handhaben *H* können die sämtlichen Elektroden auf einmal in die Gläser *g* gesenkt oder aus denselben, wenn die Batterie nicht gebraucht wird, gehoben und mittels der Zahnausschnitte *Z* in den Ständern außerhalb der Flüssigkeit gehalten werden.

Über einige Wirkungen des elektrischen Stromes.

Nimmt man einen sehr dünnen, kurzen, isolierten Kupferdraht und läßt vorerst von einem Element Strom durchfließen, so wird man nach kurzer Zeit eine vielleicht kaum merkliche Erwärmung desselben bemerken; läßt man von 2, 3, 4 usw. Elementen Strom durch den Draht fließen, so wird mit zunehmender Elementenzahl derselbe immer wärmer. Nimmt man endlich den Strom von einer ganzen Taucherbatterie, wie wir eine solche in Fig. 8

kennen gelernt haben, so wird der Draht glühend und die Isolation desselben wird verbrennen. Nimmt man einen noch stärkeren Strom, den man durch den dünnen, kurzen Draht durchschickt, so wird der Draht abschmelzen.

Leitet man einen elektrischen Strom durch ein angesäuertes Wasser in der Weise, daß dasselbe eine kurze Strecke hindurch selbst als Leiter des Stromes dient, so entwickeln sich aus dem Wasser zahlreiche kleine Gasblasen; fängt man dieselben in einem darüber gestülpten Gefäße auf, so wird man sich überzeugen können, daß diese Gasblasen nichts anderes sind als sogenanntes Knallgas, also die chemischen Bestandteile desselben, nämlich Wasserstoff und Sauerstoff. Es entwickelt sich in einer gewissen Zeit umsomehr von diesem Gas, je mehr Elemente man einschaltet.

Schaltet man einen menschlichen oder tierischen Körper in einen Batteriestromkreis ein und unterbricht oder schließt denselben plötzlich, so verspürt man heftigen Schmerz und Zuckungen der Muskeln. Je stärker der Strom, desto krampfhafter wird die Muskulatur zusammengezogen; genügend starke elektrische Ströme wirken, wenn sie den menschlichen Körper durchfließen, tödlich!

Es wurden im Laufe der Zeit eine ganze Reihe von galvanischen Elementen zusammengestellt, welche den verschiedenen Zwecken in der Praxis dienen sollen; für uns aber genügt die Kenntnis der oben angeführten Elemente vollständig und würde die Beschreibung aller übrigen unnützerweise den Stoff vermehren und nicht in den Rahmen dieses Buches, das hauptsächlich für den Bergmann bestimmt ist, passen.

Wir wenden uns also der zweiten Stromquelle, nämlich der **Dynamomaschine,** zu. Es ist dies heutzutage der wichtigste Repräsentant einer Einrichtung zur Erzeugung der elektrischen Ströme im großen, denn elektrische Maschinen für 6000 Pferdekräfte sind keine Seltenheit. Nachdem nun eine Dynamomaschine die einzige in der Maschinenpraxis verwendete Stromquelle ist, und auch unsere Betriebe von ihr ausgiebigen Ge-

brauch machen, so wird es im Folgenden unsere Aufgabe sein, uns mit dem Wesen dieser Maschine womöglich eingehend bekannt zu machen.

Das Wesen der Dynamomaschine bilden zwei Kräfte: Elektrizität und Magnetismus.

Die Elektrizität haben wir bereits kennen gelernt, und es ist vorerst notwendig, uns mit dem Magnetismus bekannt zu machen und dann die Zusammenwirkung beider Naturkräfte, d. i. der Elektrizität und des Magnetismus zu studieren, also den sogenannten Elektromagnetismus. Sobald es uns gelingt, die Gesetze der genannten zwei Disziplinen, sowie ihr Zusammenwirken zu erfassen und zu beherrschen, so haben wir viel gewonnen, denn alles übrige ist nur eine geschickte und zweckentsprechende Anordnung der einzelnen Bestandteile.

Wir gehen also über zum Studium des

Magnetismus.

In der Natur kommen Eisenerze vor, welche die Eigenschaft haben, kleine Eisenkörperchen, z. B. Eisenfeilspäne, anzuziehen und dieselben festzuhalten. Da der geschichtlichen Überlieferung nach solche Eisenerze von guter Qualität in großen Mengen in der Nähe der Stadt Magnesia in Kleinasien vorgefunden und man dort auch an ihnen die vorerwähnte Eigenschaft entdeckte, wurde dieselbe Magnetismus genannt; die Erze heißen heute noch Magneteisensteine. Vielleicht ebenso alt wie die Kenntnis der Elektrizität, ist auch diejenige des Magnetismus; doch blieb es fast 2000 Jahre bei der Kenntnis eben nur dieser Eigenschaften und die dahinter schlummernden ungeheuren Naturkräfte blieben unerforscht. Erst dem geistvollen William Gilbert war es vorbehalten, im 16. Jahrhundert durch seine Forschungen auf dem Gebiete dieser beiden Naturkräfte größere, fundamentale Fortschritte zu machen. Es gehörte in Anbetracht jener Zeit viel Geist und Energie dazu, die hemmenden Fesseln des Philosophierens von sich zu

schütteln und sich neue Wege und Methoden zu schaffen. W. Gilbert wählte einen ganz anderen, und zwar sehr richtigen Weg, nämlich den des Versuches.

Ein zweckmäßig angelegter Versuch ist allein imstande, der Natur ihre Geheimnisse abzugewinnen. Probieren geht übers Studieren! Deshalb möge man auch,

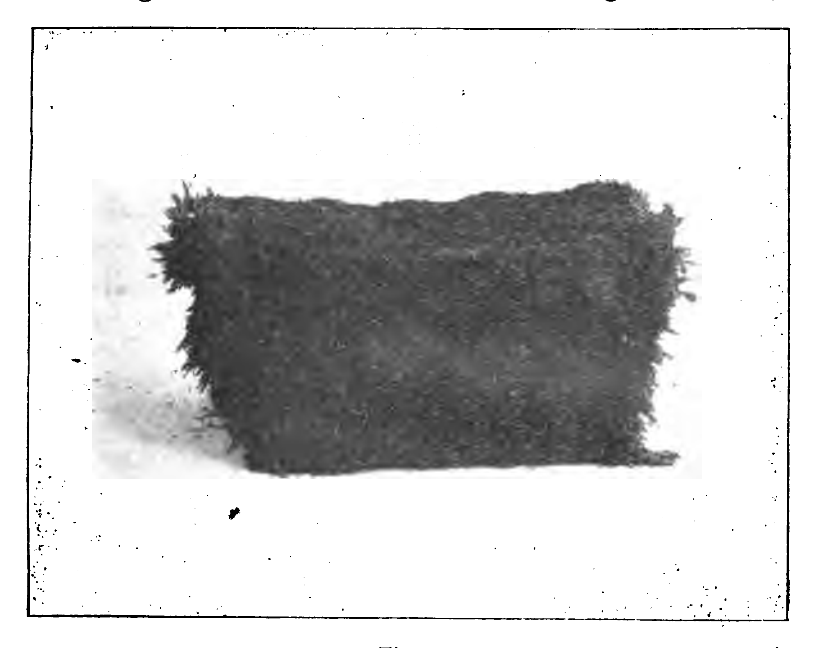


Fig. 12.

wo es nur halbwegs angeht, nicht bloß nur lesen, sondern auch den Versuch mitmachen. Auf die Art wird man einerseits rascher lernen, andererseits wird das Gelernte für immer dem Gedächtnisse bis in die Kleinigkeiten genau eingeprägt bleiben.

Gehen wir nun daran, uns mit dem Magnetismus näher bekannt zu machen.

Solche Körper, die imstande sind, Eisenteilchen anzuziehen und festzuhalten, nennt man Magnete. Man

unterscheidet natürliche und künstliche Magnete. Die Fig. 12 führt uns einen natürlichen Magneten vor, wie er Eisenspäne angezogen hat und solche festhält; es ist dies der uns bereits bekannte Magneteisenstein. Da derselbe nicht besonders stark ist, seltener vorkommt und nicht die wünschenswerte Form hat, so wollen wir uns gleich nach einem künstlichen Magneten umsehen. Zu diesem Behuf beschaffen wir uns eine hölzerne Spule mit wo möglich dünnen Wänden, von 21 *mm* lichter Weite und 160 *mm* Länge und bewickeln dieselbe mit isoliertem Kupferdraht von 0·6 bis 0·7 *mm* blanken Durchmesser in ungefähr acht bis zehn Lagen übereinander. Die beiden Enden führen wir zu Klemmen, so daß wir dann eine Spule bekommen, wie sie die Fig. 13 vorführt. Leiten wir nun in diese Spule Strom ein, z. B. von einigen Leclanché-Elementen oder von der Tauchbatterie, und stecken in die Spule ein passendes weiches Eisenstück von ca. 18 bis 20 *mm* Durchmesser und 200 *mm* Länge, so werden wir bemerken, daß dasselbe andere Eisenkörper anzieht und festhält (Fig. 14). Unterbricht man den Strom, so fallen die Eisenkörper wieder herunter (Fig. 15). Das weiche Eisenstück wurde also durch Einwirkung des herumfließenden Stromes in den Drahtwindungen magnetisch, jedoch nur so lange, als der Strom geschlossen war.



Fig. 13.

Nimmt man jedoch an Stelle des genannten weichen Eisenstückes ein Stahlstück, so wird dasselbe unter Einwirkung des elektrischen Stromes gleichfalls magnetisch, behält jedoch diese Eigenschaft nach der Unterbrechung des Stromes weiter, wenn auch nicht so intensiv wie

unter der Einwirkung des Stromes selbst. Wir haben also einen künstlichen Magnet erhalten.

Ein Grubenkompaß ist wohl allgemein bekannt.

Wenn nicht, so lasse man sich vom Obersteiger oder Steiger dessen Taschenkompaß zeigen. Die in demselben um eine Teilung spielende stählerne Nadel ist nichts anderes als ein solcher künstlicher Magnet, der um eine lotrechte Achse in einer wagrechten Ebene frei beweglich ist. Betrachten wir einmal diese Nadel. Wird ihre Arretierung gelöst, so schwingt sie in der wagrechten Ebene hin und her und die Ausschläge werden immer kleiner, bis die Nadel in einer gewissen Richtung stehen bleibt; bringt man die Nadel aus dieser angenommenen Ruhelage heraus, so wird sie abermals schwingen, jedoch genau dieselbe Stellung einnehmen wie früher. Die so eingenommene Richtung ist die Nordsüdrichtung; das gegen Norden gerichtete Ende heißt der Nordpol, das gegen Süden gerichtete der Südpol der Magnetnadel.

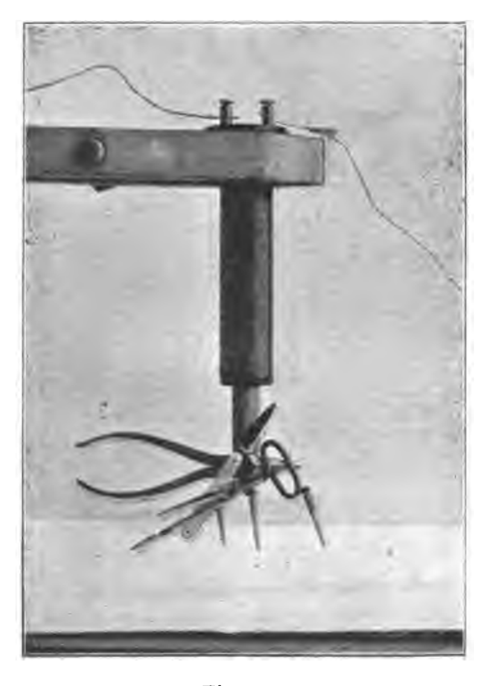


Fig. 14.

Nun nehmen wir einen anderen ganz beliebigen Kompaß, lassen weiter entfernt von dem früheren denselben ausschwingen, also die Nordsüdrichtung einnehmen,

und nähern dann beispielsweise den Nordpol der einen Magnetnadel dem Südpol der anderen, so werden wir beobachten können, daß sich die Pole gegenseitig anziehen.

Nähern wir nun entweder die beiden Süd- oder die beiden Nordpole einander, so werden sich dieselben jedesmal abstoßen, und wenn wir sie auch gewaltsam bis zur Berührung bringen, so lösen sie sich nachher wieder voneinander ab. Aus diesem Versuch läßt sich folgender Lehrsatz aufstellen: „Gleichnamige Pole stoßen einander ab, ungleichnamige Pole ziehen einander an."

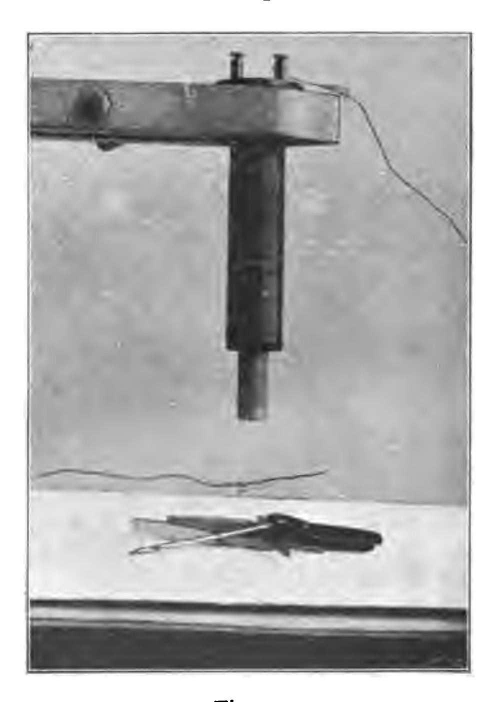


Fig. 15.

Von diesem Lehrsatz können wir gleich Anwendung machen, um zu unterscheiden, ob ein Eisenstück magnetisch ist oder nicht.

Nähern wir nämlich ein Stück Eisen abwechselnd mit beiden Enden irgend einem Pol der freischwingenden Magnetnadel und wird jedesmal der Pol angezogen, so ist das Eisenstück nicht magnetisch; wird hingegen ein und derselbe Pol von dem einen Ende des Eisenstückes angezogen, von dem anderen abgestoßen, so ist das betreffende Stück magnetisch.

Ein Magnet hat immer zwei Pole, einen Nordpol und einen Südpol. Die am meisten benutzten Formen der Magnete sind: Die Stabform (rund oder flach) die Nadelform und die Hufeisenform (Fig. 16 bis 19).

Wir wollen nun unsere Versuche mit dem künstlichen Magnet weiter ausführen und nehmen zu diesem Behufe wieder unseren weichen Eisenstab, den wir in seiner uns bekannten Spule vom Strom umfließen lassen, wodurch er stark magnetisch wird. Wenn wir diesem Magnet ein anderes weiches Eisenstück nähern, wird dasselbe, wie wir bereits wissen, angezogen und festgehalten. Lassen wir (Fig. 20) dieses angezogene Eisenstück E hängen und nähern diesem ein anderes E_1, so wird dasselbe wieder angezogen und festgehalten, und

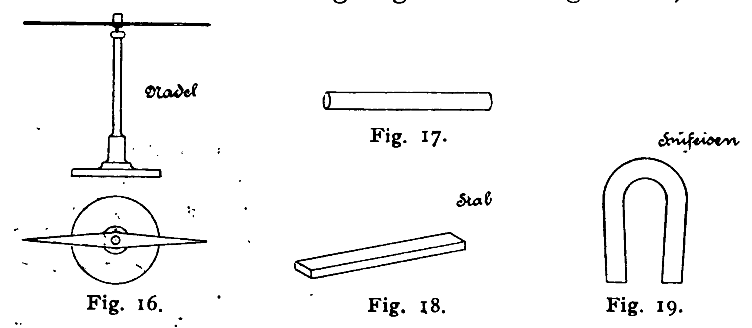


Fig. 16. Fig. 17. Fig. 18. Fig. 19.

so können wir bis zu einer gewissen Grenze immer wieder neue Eisenstücke aneinander hängen. Fig. 20 führt uns ein zu einem Hufeisen gebogenes stärkeres Weicheisenstück vor, dessen beide Schenkel von Spulen umgeben sind und daher beide magnetisch gemacht werden können. Hier sieht man eine ganze Kette von Eisenstücken, die nach Unterbrechung des Stromes sofort abfallen. Untersuchen wir die heruntergefallenen Stücke, so ist keines von ihnen magnetisch.

Machen wir nun einen weiteren Versuch: Wir nähern dem Magnet wieder ein Stück Eisen E, jedoch so, daß dasselbe zwar möglichst nahe an dem Pole ist, denselben jedoch nicht berührt. Wir können uns beispielsweise mittels Eisenfeilspänen überzeugen, daß das

angenäherte Stück trotzdem magnetisch ist, da es die Späne anzieht (Fig. 21) Es wurde also dem Eisenstück die magnetische Kraft durch die Luft von dem Nachbarmagneten mitgeteilt. Man nennt diese Eigenschaft, daß ein Eisenstück in der Nähe eines starken Magneten selbst magnetisch wird, die magnetische Induktion. (Vom lateinischen Wort inducere = = mitteilen.)

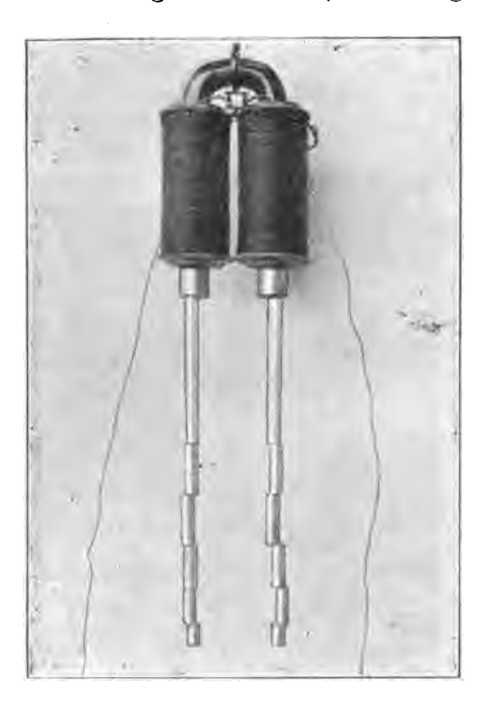


Fig. 20.

Streicht man einen schwächeren Stahlstab einigemal seiner Länge nach über den kräftigen magnetischen Pol, so wird er dauernd magnetisch. Nehmen wir z. B. eine gute gehärtete Stricknadel und magnetisieren dieselbe durch Streichen, so wissen wir ja bereits, daß sie einen Nord- und einen Südpol hat. Wenn wir nun dieselbe mit einer Zange in zwei gleiche Teile teilen, werden wir uns leicht überzeugen können, daß jedes Stück für sich einen Nordpol und einen Südpol hat. Wir können nun weiters jedes Stück für sich so lange immer wieder teilen und selbst das kleinste Stück wird stets für sich einen Magnet mit den beiden Polen darstellen.

Das Wesen des Magnetismus ist uns unbekannt; um jedoch für die verschiedenen magnetischen Vorgänge, für die verschiedenen magnetischen Erscheinungen

eine unserem Gedankengang angemessene, greifbare und sichtbare Grundlage zu geben, folgen wir dem Winke unseres letzten Experimentes mit der Teilung eines dünnen Stabmagneten (Stricknadel) in die möglichst kleinsten Teilchen.

Die Naturlehre lehrt, daß alle Körper ohne Ausnahme aus sehr kleinen Teilchen bestehen, die aus ganz demselben Material sind, auch ganz dieselben Eigenschaften haben, wie der aus ihnen zusammengesetzte Körper selbst.

Diese kleinsten Teile heißen Moleküle. Ein jedes Eisenstück besteht somit auch aus solchen Eisenmolekülen und wir stellen uns vor, daß jedes Molekül schon von Haus aus ein Magnet für sich ist; nur liegen diese unendlich vielen kleinen Magnetchen regellos durcheinander, oder sind mit ihren ungleichnamigen Polen gegeneinander gerichtet. Kommt nun ein solches Eisenstück in die Nähe eines starken Magnetes, beispielsweise seines Nordpols, so werden nach dem uns bekannten magnetischen Anziehungs-, beziehungsweise Abstoßungsgesetze die Magnetchen gerichtet, d. h. in unserem Falle werden die Südpole der Moleküle angezogen, die Nordpole abgestoßen, und da die Anziehung gegenüber der Abstoßung überwiegt, so erfolgt die Anziehung des Eisenstückes. Hört der Einfluß des starken Nordpoles auf, und ist das Eisenstück weich, so ziehen sich die benachbarten Moleküle mit ihren ungleichnamigen Polen wieder an, sie drehen sich in ihre ursprüngliche Ruhelage zurück, jedoch nicht so ganz, wie sie ursprünglich waren.



Fig. 21.

Wird nämlich ein Eisenstab einmal irgendwie magnetisiert, und hört die magnetisierende Wirkung

wieder auf, so bleibt doch ein gewisser Magnetismus in dem Stabe zurück. Will man nun den Magnetismus des Stabes umkehren, so wird vorerst ein Teil der einwirkenden magnetischen Kraft aufgebraucht, um den zurückgebliebenen Magnetismus, der noch immer in der früheren Richtung wirkt, zu vernichten; erst dann nimmt der Eisenstab die verkehrte Polarität an.

Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der sogenannten Koerzitivkraft; es ist dies jene Kraft, welche in jedem Falle, während einer Magnetisierung oder auch Entmagnetisierung, die Molekularmagnete verhindert, sich in eine andere Richtung einzustellen. Man nennt diese Eigenschaft des Eisens magnetische Hysteresis (Trägheit, Verspätung).

Jedes Molekül hat die gleiche magnetische Kraft; es brauchen sich also in einem weichen, noch nie magnetisierten Eisenstück die Kräfte der einzelnen Pole gegenseitig im Innern des Eisenkörpers auf und es kann sich somit nach außen keine magnetische Wirkung äußern. Bleiben jedoch die Moleküle geordnet, auch nach Entfernung von einem starken Magneten, so daß die Südpole alle nach der einen, die Nordpole nach der anderen Seite gerichtet sind, so summieren sich die Wirkungen der einzelnen Magnetchen, und wir haben einen permanenten Magneten vor uns. Nach dem bisher Gesagten ist es uns nun leicht erklärlich, warum ein Eisenstück vom magnetischen Pol angezogen und warum es selbst in der Nähe eines Magneten zu einem Magneten wird.

Wir konnten ferner bei unseren Versuchen beobachten, daß die magnetische Kraft der Anziehung oder Abstoßung im Raume um den Pol herum gewirkt hat; man bezeichnet einen solchen Raum, in welchem magnetische Kräfte wirksam sind, als ein magnetisches Feld. Es hat also auch die Erde ein magnetisches Feld, denn sie wirkt im Raume auf eine freischwingende Magnetnadel. Die Kraft, mit welcher das magnetische Feld auf einen gegebenen Magnetstab oder überhaupt auf ein Eisenstück einwirkt, nennt man die Feldstärke oder die Intensität des magnetischen Feldes.

Wie man nun z. B. die Kraft des Dampfes dadurch ausdrückt, daß man sagt, derselbe drückt mit so und soviel Kilogramm auf 1 cm^2 (Atmosphären), so werden wir uns auch nach irgend einer Maßeinheit für die Stärke des magnetischen Feldes umsehen. Wir werden uns zu diesem Behufe die in einem magnetischen Felde herrschenden Kräfte auf eine einfache Weise bildlich darstellen. Wir legen über einem, auf einem Tische liegenden Magnetstab ein Blatt weißes Zeichenpapier und streuen auf dieses in einem feinen Strahl Eisenfeilspäne, wobei man noch mit einem Finger der

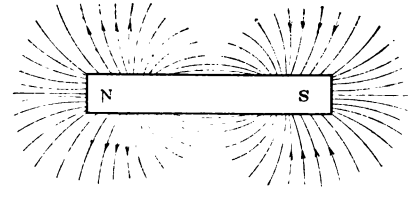
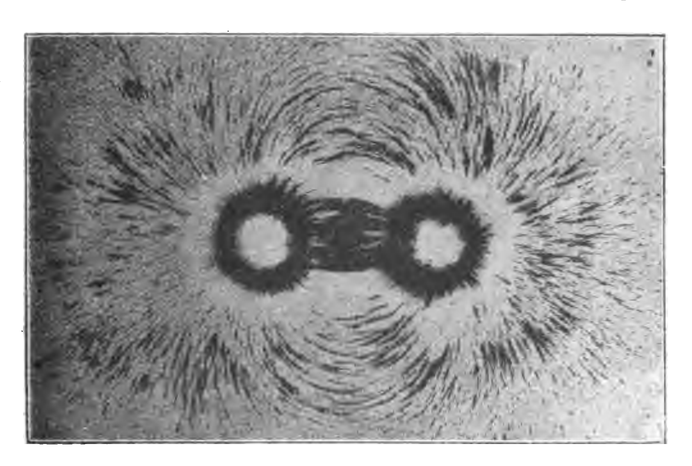


Fig. 22.


Fig. 23.

anderen Hand gleichzeitig mäßig auf das Blatt klopfen kann. Man bemerkt, daß sich die Eisenfeilspäne in gewissen Linien aneinander reihen, welche zwischen den Polen in krummen Bahnen verlaufen; man nennt diese Linien die

Kraftlinien und sagt, ein magnetisches Feld habe die Intensität **eins**, wenn aus einem Quadratzentimeter desselben **eine** Kraftlinie ausgeht. Fig. 22 stellt den Verlauf der Kraftlinien eines flachen Magnetstabes dar, Fig. 23 den Verlauf derselben bei einem starken Hufeisenmagneten, wenn das Papier auf die Enden der Pole aufgelegt wird. Die Fig. 24 und 25 veranschaulichen den Kraftlinienverlauf von Flachstab-Magneten, wenn zwei nebeneinander gelegt werden; liegen die ungleichnamigen Pole gegeneinander, so bilden die Kraftlinien Brücken von einem Pol zum anderen, woraus man eine Anziehung ersehen kann. Befinden sich die gleichnamigen Pole gegenüber, so streben die Kraftlinien auseinander zu laufen. Diese Figuren stellen den Kraftlinienverlauf auf einer Ebene dar, die Fig. 26 hingegen führt uns einen solchen im Raume vor, wie er sich zwischen den beiden Polen eines Hufeisenmagneten ergibt.

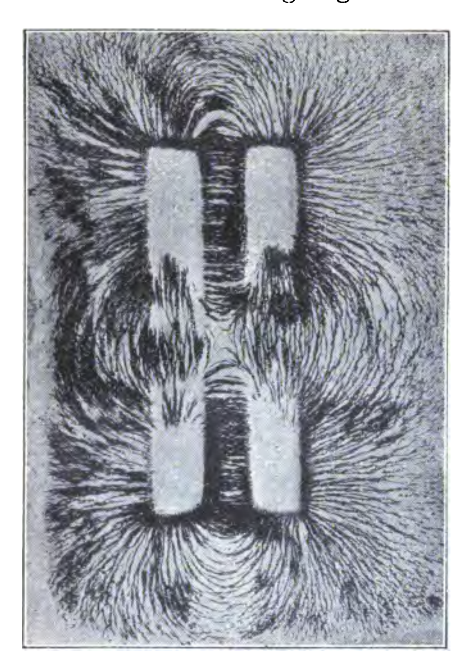


Fig. 24.

Auf Grund allgemeiner Vereinbarung wird angenommen, daß die Kraftlinien vom Nordpol auf den Südpol im Raume übergehen, und man bezeichnet auch häufig die Austrittsstelle mit dem Zeichen +, die Eintrittsstelle mit dem Zeichen —, also Nordpol = positiv, Südpol = negativ.

Je mehr Kraftlinien also die Fläche von 1 cm^2 senkrecht durchsetzen, desto größer ist die Stärke oder Intensität des magnetischen Feldes. Zum Vergleich dienen hier folgende Angaben: Die Intensität des magnetischen Feldes der Erde beträgt beispielsweise 0·2, d. h. auf 5 cm^2 entfällt eine Kraftlinie; bei den Polschuhen einer Dynamomaschine beträgt gewöhnlich die Intensität 6000—7000 Kraftlinien, im Ankereisen 10.000 bis 15.000 Kraftlinien pro 1 cm^2. Bei anderen magnetischen Feldern kann man die Intensität weit über 20.000 Linien pro 1 cm^2 steigern! Der in Fig. 20 abgebildete Hufeisenmagnet hat in dem Augenblicke, wo er die verschiedenen Eisenstücke anzieht, ein magnetisches Feld von der Intensität 16.800 Kraftlinien auf den Quadratzentimeter und wir werden aus einer späteren Betrachtung sehen, was für eine ansehnliche Kraft auf andere Eisenstücke von diesen Kraftlinien ausgeübt wird. Wir können uns die zwischen zwei Polen verlaufenden Kraftlinien als zwischen zwei Brettchen gespannte, sehr elastische Gummifäden vorstellen; je mehr solcher Fäden nun auf einer bestimmten Flächeneinheit der Brettchen (beispielsweise auch auf 1 cm^2) angebracht sind, eine desto größere Kraft muß man anwenden, um sie in der

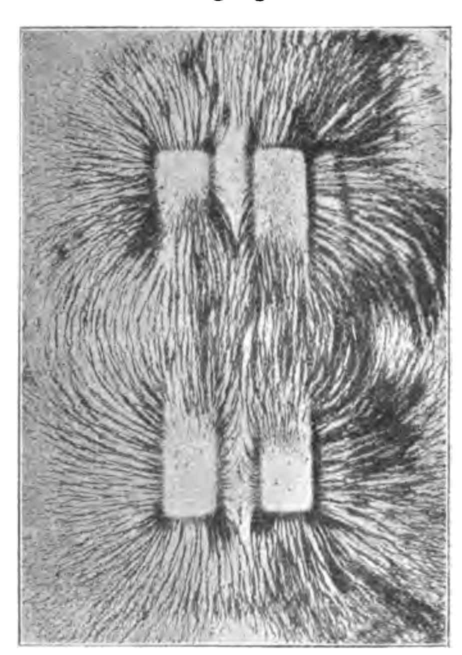


Fig. 25.

Richtung der Fäden voneinander zu bringen. Je mehr Kraftlinien zwischen den Polen zweier sich anziehender Pole verlaufen, um so schwieriger wird man letztere voneinander abreißen können.



Fig. 26.

Wir sind also auf Grund unserer bisherigen Versuche und der daraus gemachten Schlüsse soweit gelangt, daß wir uns die magnetische Kraft auf Umwegen gleichsam sichtbar und dadurch meßbar machen können.

In der Hauptsache haben wir also gelernt, daß in dem Raume um die Pole des magnetischen Körpers herum magnetische Kraftlinien vom Nordpol zum Südpol verlaufen und daß sie daher auf Körper, die in diesen Raum gebracht werden, irgendwie einwirken, ferner daß durch Annahme des Begriffes „Kraftlinien", deren Einheit ganz präzise definiert worden ist, wir imstande sind, in jedem Falle **die Stärke** des magnetischen Feldes, das ist mit anderen Worten, seine Leistung genau anzugeben.

Bisher haben wir diese Einwirkung des magnetischen Feldes bloß auf Eisen beobachtet und daraus unsere Schlüsse gezogen. Wir haben aber auch schon eine andere Naturkraft kennen gelernt, den elektrischen Strom, der längs eines Metalldrahtes weiter geleitet werden kann. Stellen wir uns einmal die Frage auf, wie werden sich diese beiden Naturkräfte verhalten, wenn wir sie wechselweise aufeinander einwirken lassen?

Gehen wir also gleich daran, die nötigen Versuche in dieser Hinsicht anzustellen, und wir werden zu einer Menge interessanter Erscheinungen sowie daraus entwickelter Lehrsätze kommen; und da wir hier Elektrizität und Magnetismus zusammen, als zwei aufeinander einwirkende Kräfte behandeln werden, so wird diese Lehre die Lehre vom

Elektromagnetismus

genannt.

Nehmen wir zu unserem Versuch die einfachsten Träger dieser beiden Naturkräfte, d. i. eine freischwingende Magnetnadel und einen vom elektrischen Strom durchflossenen geradlinigen Leiter. Lassen wir die Nadel ausschwingen und spannen parallel über derselben einen Kupferdraht (Fig. 27). Dann senden wir durch letzteren einen elektrischen Strom. Wir werden sehen, daß die Nadel aus ihrer Ruhelage wie von einer unsichtbaren Hand herausgedreht und in einer anderen Lage erhalten

wird; unterbricht man den elektrischen Strom, so kehrt die Nadel wieder in ihre Ruhelage zurück. Wiederholen wir den Versuch, jedoch so, daß der Strom gegen früher verkehrt fließt, so wird auch die Nadel nach der ver-

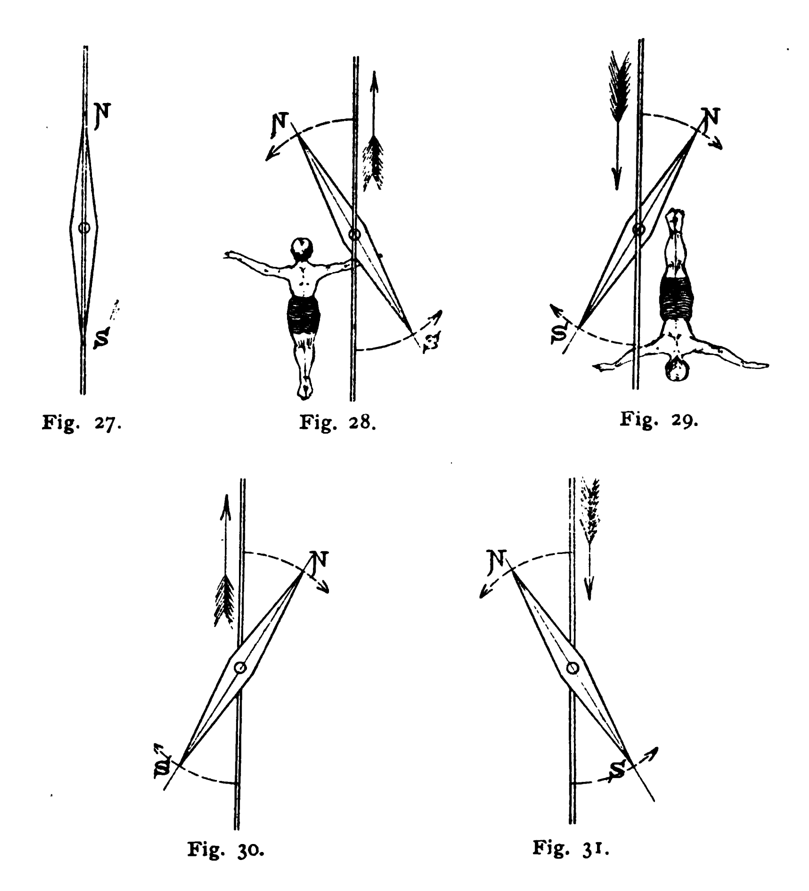


Fig. 27. Fig. 28. Fig. 29.

Fig. 30. Fig. 31.

kehrten Seite abgelenkt (Fig. 28 u. 29). Geben wir dem Strome die ursprüngliche Richtung wieder, halten jedoch diesmal den Draht unterhalb der Magnetnadel, so wird dieselbe verkehrt wie beim ersten Versuch in der

Fig. 28 abgelenkt (Fig. 30); verkehrt man abermals die Stromrichtung, so wird auch da wieder die Nadel verkehr abgelenkt (Fig. 31).

Diese hier angeführten Beobachtungen mit der Magnetnadel hat zuerst Oerstedt im Jahre 1820 gemacht.

Wie haben wir uns diese Erscheinung zu erklären?

Wir wissen bereits aus der Lehre vom Magnetismus, daß jeder Magnet sein magnetisches Feld hat, in welchem magnetische Linien verlaufen; kommen nun die Kraftlinien zweier solcher Felder zusammen, so

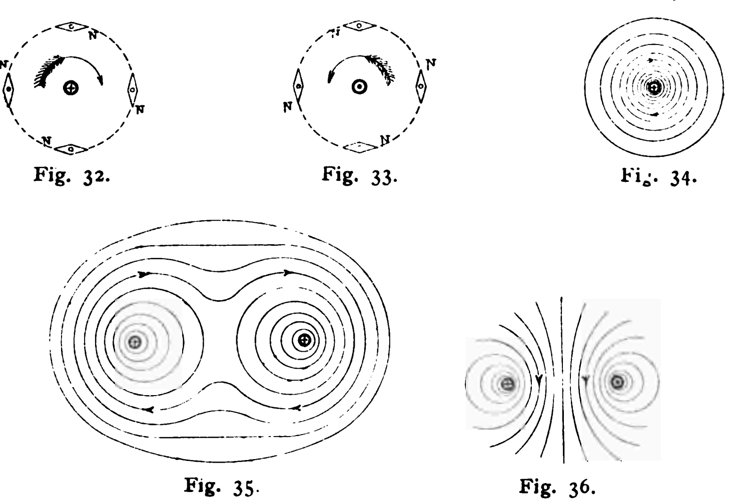


Fig. 32. Fig. 33. Fig. 34.

Fig. 35. Fig. 36.

wirken sie aufeinander entweder anziehend oder abstoßend (Fig. 23 u. 24). Da nun unsere Magnetnadel in dem Augenblicke, wo der elektrische Strom den darüber gespannten Draht durchfließt, ebenfalls abgelenkt wird, so müssen von dem stromdurchflossenen Leiter **Kraftlinien** ausgehen, die auf diejenigen der Magnetnadel einwirken!

Es wird nun also zunächst unsere Aufgabe sein, die Kraftlinien wieder bildlich darzustellen und somit einen sichtbaren Beweis von ihrem Vorhandensein zu liefern, und ferner den Verlauf derselben im Raume zu

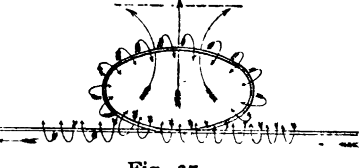
ermitteln. Zu diesem Behufe nehmen wir einen geradlinigen vertikal befestigten Leiter, der durch ein Blatt steifes Papier hindurchgesteckt ist. Lassen wir nun einen starken Strom durch den Draht fließen und streuen vorsichtig in kleinen Mengen Eisenfeilspäne auf das Blatt, so werden sich dieselben kreisförmig um den Draht lagern, also ganz ähnlich wie die uns bekannten Kraftlinien um einen magnetischen Pol. Und es sind auch tatsächlich Kraftlinien, denn wenn wir, wie in den Fig. 32 u. 33 gezeichnet ist, mit einer kleinen Magnetnadel auf einen bestimmten Kreis den Draht umfahren, so wird ihre Längsachse immer mit der Kreislinie zusammenfallen. Es verlaufen also um den stromdurchflossenen Draht in sich selbst geschlossene Kraftlinien!

Welche Richtung hat ihr Verlauf bei einer bestimmten Stromrichtung?

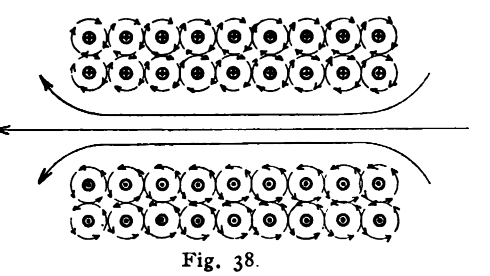
Nehmen wir an, der Strom fließe im Drahte nach abwärts, also in die Papierebene hinein (im Drahtquerschnitt durch ein Kreuz bezeichnet, was die Federn eines Pfeiles bedeutet), so verlaufen nach der Stellung der Magnetnadel (Fig. 32) die Kraftlinien von links nach rechts, also im Sinne des Zeigers einer Uhr. Fließt hingegen, wie in der Fig. 33 gezeichnet ist, der Strom nach aufwärts, also aus der Papierebene heraus (im Drahtquerschnitt durch einen Punkt bezeichnet, was die Spitze des Pfeiles bedeutet), so verlaufen nach der Stellung der Magnetnadel die Kraftlinien von rechts nach links, also verkehrt dem Sinne des Zeigers einer Uhr.

Die Magnetnadel hat uns also infolge ihrer Ablenkung darüber Aufschluß erteilt, daß ein stromdurchflossener Leiter seiner ganzen Länge nach ein magnetisches Feld besitzt, dessen Kraftlinien sich konzentrisch um den Leiter anordnen (Fig. 34) und es wird uns jedenfalls, ähnlich wie bei Magneten selbst auch hier interessieren, zu erfahren, wie sich zwei stromdurchflossene Leiter, beziehungsweise ihre magnetischen Felder, nahe aneinander gebracht, verhalten. Die Sache wird uns jedenfalls nicht schwer fallen, wenn wir uns dieselbe aufzeichnen. In der Fig. 35 haben wir zwei

Leiter vorgeführt, wo die Ströme derselben parallel und in derselben Richtung verlaufen; ihre Kraftlinien werden ineinander übergehen. Nehmen wir hingegen zwei parallele ungleich gerichtete Ströme, so werden zwischen ihnen die Kraftlinien gegeneinander verlaufen, und da sie sich abstoßen, so werden sie nebeneinander in derselben Richtung aus dem Zwischenraum zwischen den Drähten heraustreten (Fig. 36).


Fig. 37.

Biegen wir nun einen Draht zu einem Reifen (Fig. 37), so wird von demselben eine Fläche gebildet, und es treten bei Stromdurchgang die Kraftlinien innerhalb des Reifens überall in die Fläche desselben ein. Wenn wir nun den Draht mehreremale in derselben Richtung im Kreise herumführen, so wird von den Ringen ein Zylinder gebildet, in dessen Mitte sodann die Kraftlinien nahezu parallel verlaufen. Die Fig. 38, welche uns diese Windungen im Querschnitte vorführt, sagt uns alles; jeder Draht hat sein magnetisches Feld, und daher auch eine Intensität und da zwischen den nebeneinander liegenden Windungen der Verlauf der Kraftlinien ein entgegengesetzter ist, so heben sich dort die Wirkungen zum größten Teile auf, während innerhalb der durch die Windungen gebildeten Röhre dieselben in gleicher Richtung verlaufen und sich daher summieren.


Fig. 38.

Die Feldstärke eines stromdurchflossenen Leiters ist von der Stärke des elektrischen Stromes abhängig: Je stärker der Strom, desto dichter sind die Kraftlinien; wir haben soeben auch gesagt, daß sich in

einer Drahtspule die Kraftlinien summieren; es wird also im Inneren der Spule die Feldstärke um so größer sein, je größer die Stromstärke und je mehr Windungen in der Spule vorhanden sind. Es wird also die Feldstärke einer Spule bestimmt durch das Produkt:

Stromstärke $\times$ Windungszahl.

Da die Stromstärke, wie wir später erfahren werden, nach Ampère-Einheiten angegeben wird, so multipliziert man einfach die Anzahl der Ampère mit der Anzahl der Windungen und nennt dieses Produkt die **Ampèrewindungszahl.**

Eine vom Strome durchflossene Drahtspule heißt ein Solenoid.

Ein solches Solenoid nun verhält sich genau so wie ein Magnetstab; nähern wir dasselbe dem Pol einer freischwingenden Magnetnadel, so wird dieselbe entweder abgelenkt oder angezogen.

Wir können uns nun leicht erklären, warum ein in eine stromdurchflossene Spule gestecktes weiches Eisenstück so stark magnetisch wird. Die molekularen Magnetchen desselben werden von den magnetischen Kraftlinien der Drahtwindungen hintereinander gerichtet und Spule und Eisenkern wirken dann gemeinschaftlich als ein einziger starker Magnet, denn die magnetischen Felder beider addieren sich. Da nun gleichsam dem weichen Eisenstück von der Spule der Magnetismus mitgeteilt wird, so spricht man auch hier von einer magnetischen Induktion. In der praktischen Elektrotechnik hat diese Benennung eine ganz spezielle Bedeutung, gleichsam die Bedeutung einer Maßeinheit und wird gewöhnlich mit dem Buchstaben „B" bezeichnet und ist darunter die Anzahl Kraftlinien, die ein Quadratzentimeter durchsetzen, zu verstehen.

Wenn wir die Fig. 38 genau betrachten, so sehen wir, daß die Kraftlinien so verlaufen, als ob sie aus dem Nordpol austreten und durch die Luft in einem Bogen wieder in den Südpol eintreten würden. Man stellt sich nun auch tatsächlich den Verlauf der Kraftlinien in dieser Weise vor und nennt denselben einen magnetischen Kreis.

Ein solcher Kreis kann nun entweder ganz in Eisen oder in Eisen und Luft hintereinander verlaufen. Bewickeln wir beispielsweise einen Eisenring teilweise mit stromdurchflossenem Draht (Fig. 39) so werden fast sämtliche Kraftlinien in dem Ringe verlaufen und man nennt dies einen geschlossenen magnetischen Kreis. Da die Kraftlinien im Eisen in sich selbst verlaufen, so sind keine Magnetpole vorhanden, und es übt ein geschlossener magnetischer Kreis nach außen keine Wirkung aus. Schneiden wir dagegen aus dem Eisenringe ein Stück heraus (Fig. 40), so müssen die induzierten Kraftlinien nunmehr die Unterbrechung, also Luft passieren, und man nennt einen solchen Kreis einen offenen magnetischen Kreis. Einen solchen offenen

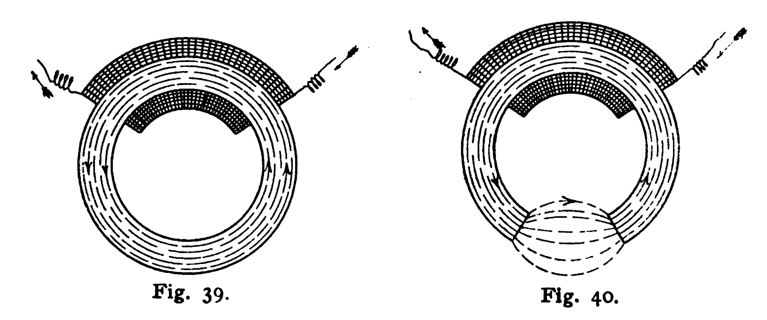


Fig. 39. Fig. 40.

Kreis stellt auch unser hufeisenförmiger Elektromagnet vor, wie wir ihn in den Fig. 20 u. 23 kennen gelernt haben. Wird an seine Pole ein eisernes Schlußstück angelegt, so erhalten wir einen geschlossenen Kreis. Dieses Schlußstück heißt bei Magneten Anker.

An der Unterbrechungsstelle eines solchen magnetischen Kreises herrscht eine ganz respektable Zugkraft. Die Fig. 41 führt uns unseren Elektromagneten in dem Augenblicke vor, wo seine zwei Spulen vom Strome durchflossen werden, und wo sein Anker eine ganze Gesellschaft in der Luft schaukelt. Diese Belastung (ca. 125 *kg*) ist noch lange nicht hinreichend, um den Anker abzureißen; nach der Berechnung wären hierfür in diesem Zustande 270 *kg* notwendig. Des Interesses

halber sind in der Fig. 42 die hauptsächlichsten Maße angedeutet; jede Spule besitzt 600 Windungen eines mit Baumwolle umsponnenen Kupferdrahtes von 2·5 *mm*

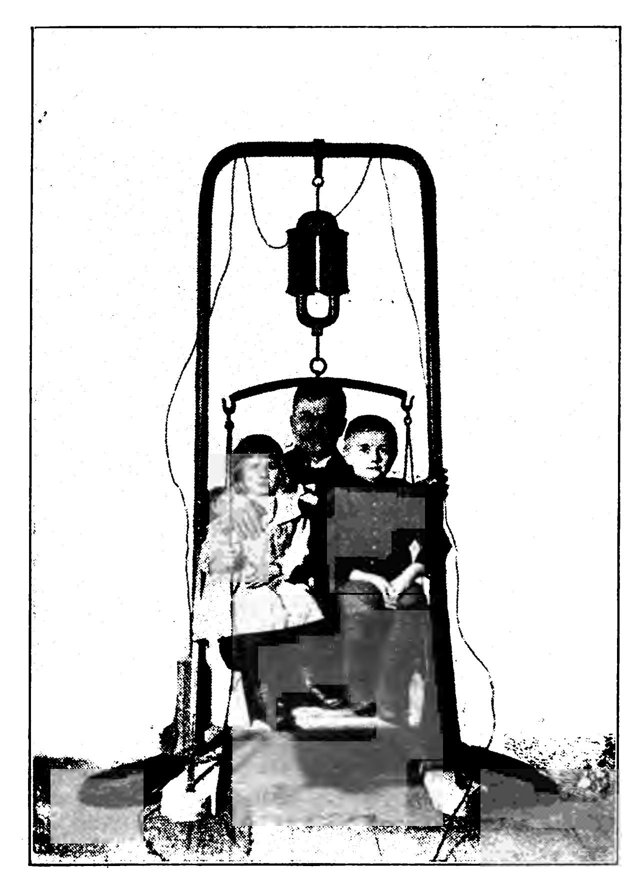


Fig. 41.

blankem Durchmesser. Die Zugkraft läßt sich, wie schon angedeutet, rechnerisch bestimmen, und zwar mittels folgender Formel:

$$K = \frac{F \times B^2}{8\pi \times 981.000} \times 2.$$

Es bedeutet:
K die Zugkraft in Kilogramm,
F die Querschnittfläche des Eisens in Quadratzentimetern,
B die magnetische Induktion, d. i. die Anzahl Kraftlinien pro Quadratzentimeter,
$\pi = 3{\cdot}14$ = Ludolfsche Zahl.

Es erübrigt uns noch zu bestimmen, also nach einer Regel zu suchen, nach welcher Seite hin bei einer gegebenen Stromrichtung die Magnetnadel abgelenkt wird und wo bei einem in ein Solenoid gesteckten Eisenstück der Nordpol und wo der Südpol entsteht.

Betrachten wir unser in Fig. 28 dargestelltes Experiment, wo die Magnetnadel von oben gesehen und der Draht darüber gespannt erscheint, so sehen wir, daß der Nordpol bei der angedeuteten Stromrichtung nach links abgelenkt wurde; fließt der Strom verkehrt über der Nadel, wie es die Fig. 29 andeutet, und gehen wir wieder mit der Stromrichtung, so wird der Nordpol ebenfalls wieder nach links abgelenkt. Der Physiker Ampère hat für diese Ablenkungen eine sogenannte „Schwimmerregel" aufgestellt, die lautet: Denkt man sich in der Richtung des Stromes schwimmend, mit dem Kopfe voran, und mit dem Gesichte der Magnetnadel zugewendet, so wird der Nordpol nach **links** abgelenkt. In den Fig. 28 u. 29 finden wir dies veranschaulicht.

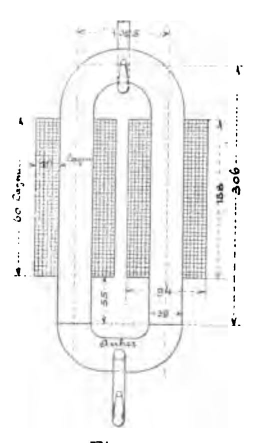


Fig. 42.

Wenden wir nun diese Schwimmerregel gleich auf unser Solenoid an, wie ein solches mit einigen deutlich sichtbaren Windungen in der Fig. 43 gezeichnet er-

scheint. Die Pfeile zeigen die Stromrichtung an; legen wir in diese einen Schwimmer, wie er ebenfalls in der Figur gezeichnet ist, so zeigt seine linke Hand auf dem Papier nach oben, und dort wird auch der Nordpol sein, wie wir uns an einer freischwingenden Magnetnadel leicht überzeugen können.

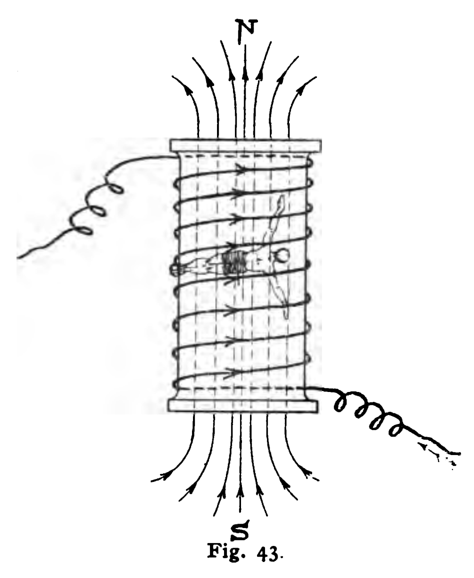


Fig. 43.

Diese Schwimmerregel ist für gerade ausgespannte Drähte sehr einfach und bequem, erfordert aber bei Spulen, die sich ja unverrückbar in allen möglichenLagen befinden können, manchmal ziemlich schwierige gymnastische Bewegungen, um sich in die Stromrichtung entsprechend hineinzudenken und zu legen. Man nimmt daher beispielsweise den Sinn der Zeigerbewegung einer

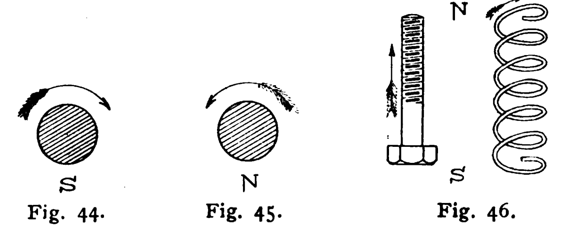


Fig. 44. Fig. 45. Fig. 46.

Uhr zu Hilfe und man merke sich, daß, wenn man auf die Querschnittfläche eines Poles sieht und derselbe ein Südpol ist, der ihn erregende Strom im Sinne des Uhrzeigers fließt (Fig. 44). Fließt umgekehrt der Strom der

Uhrzeigerbewegung entgegen, so ist vor uns ein Nordpol, auf der von uns abgewendeten Seite dann selbstverständlich ein Südpol (Fig. 45). Schließlich kann man auch zur Orientierung die Bewegung einer rechtsgängigen Schraube benutzen. Dem praktischen Maschinisten ist ja der Handgriff, wie man eine Schraube ein- oder ausschraubt, äußerst geläufig. Geschieht die Fortbewegung des Stromes in dem Sinne, wie man eine Schraube einschraubt (also von links nach rechts), so ist der Nordpol vorne, der Südpol also beim Schraubenkopf (Fig. 46). Um auch denjenigen Lesern gerecht zu werden, welchen die Handhabung eines Stöpselziehers geläufiger ist, wollen wir auch noch dieses Instrument zu Rate ziehen. Es besteht diesbezüglich tatsächlich auch eine sogenannte Korkzieherregel. Die Flasche stellt uns einen etwas stärkeren Magnetstab vor. Das Einschrauben des Korkziehers in den Spund erfolgt von links nach rechts; fließt in diesem Sinne der Strom weiter, so ist der Flaschenhals der Südpol, der Flaschenboden der Nordpol; das Umgekehrte

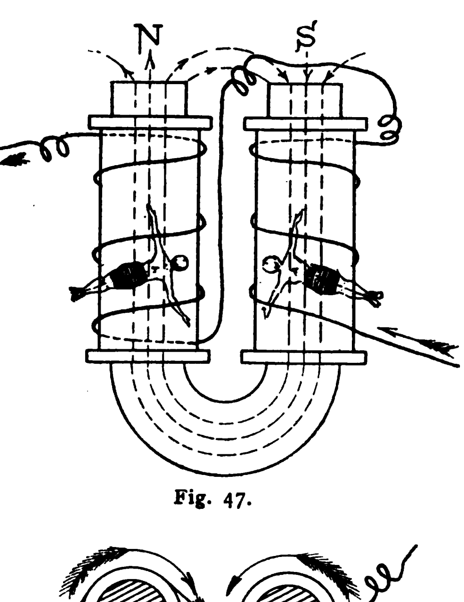


Fig. 47.

Fig. 48.

wird nicht schwer zu treffen sein. In einer mehr gelehrten Form lautet die Regel: „Die Bewegungsrichtung eines Nordpoles um einen geradlinigen unbegrenzten Strom ist jene eines Korkziehers, welcher sich in der Richtung des Stromes fortbewegen würde" (Maxwells Korkzieher-Regel).

Nach dem bisher Gesagten und den angeführten Regeln gemäß muß also die Bewickelung eines Hufeisenmagneten, bei welchem man an dem einen Ende einen Nordpol und am anderen Ende einen Südpol haben will, auf dem einen Schenkel von links nach rechts, auf dem anderen von rechts nach links hergestellt sein, wie in der Fig. 47 und 48 angedeutet ist.

Wir haben bei unseren Betrachtungen über den Magnetismus von einem magnetischen Stromkreis

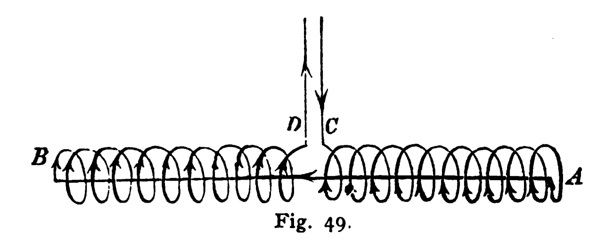


Fig. 49.

gesprochen, und stellen uns auch tatsächlich vor, wie schon erwähnt wurde, daß die Kraftlinien vom Nordpol zum Südpol fließen. Wenn daher ein Solenoid imstande ist, Kraftlinien zu erzeugen (Fig. 49), wie wir ja gesehen haben, so muß ihm eine Kraft innewohnen, welche den magnetischen Fluß erzeugt; diese, den Magnetismus bewegende Kraft heißt die magnetomotorische Kraft. Je mehr Windungen pro 1 *cm* Länge ein Solenoid hat, und je mehr Strom durch dieselben fließt, also je mehr Ampèrewindungen vorhanden sind, um so größer wird auch die magnetomotorische Kraft sein.

Es ist uns bekannt, daß die Kraftlinien zweier magnetischer Felder aufeinander einwirken. Da ein stromdurchflossener Leiter ebenfalls ein magnetisches Feld hat, so muß sich offenbar auch eine Einwirkung eines

vom Magneten erzeugten magnetischen Feldes auf einen stromdurchflossenen Leiter bemerkbar machen. Den hierzu nötigen Versuch veranstalten wir beispielsweise folgendermaßen: Den uns aus Fig. 41 bekannten Hufeisen-Elektromagnet legen wir auf den Tisch so, daß die Pole über den Rand hinausragen. Den die Magnetspulen durchfließenden Strom leiten wir durch einen ca. 4 *mm* starken Kupferstab, welcher auf einem Seidenfaden frei in der Nähe der Magnetpole hängt. Fließt kein Strom, so hängt der Kupferstab ruhig in lotrechter Richtung herab; schließt man den Stromkreis, so wird der Stab aus seiner vertikalen Lage herausbewegt; den Grund dafür können wir nach dem bereits Gelernten leicht beantworten. Zwischen den Polen des Hufeisenmagnetes verlaufen ja Kraftlinien, d. h. es besteht zwischen ihnen ein magnetisches Feld. Der in diesem Feld hängende Kupferstab hat, sobald er vom Strome durchflossen wird, auch sein magnetisches Feld. Diese zwei Kraftlinienfelder wirken nun aufeinander ein und da der auf einem Seidenfaden hängende Kupferstab genügend beweglich ist (wie ein Pendel), so folgt er der gegenseitigen Einwirkung der Kraftlinienfelder und ändert seine Lage, kurz er wird von dem einen oder von dem anderen Pole angezogen.

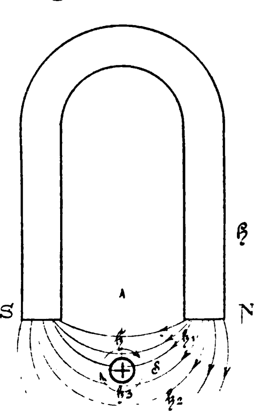


Fig. 50.

In der Fig. 50 finden wir die Kraftlinienfelder schematisch dargestellt: *h* ist der Hufeisenmagnet, zwischen dessen Polen *N* und *S* die Kraftlinien verlaufen; fließt durch den Kupferstab *S* der Strom nach abwärts, also in der durch ein + angedeuteten Richtung, so verlaufen seine Kraftlinien von links nach rechts (vgl. Fig. 32). Es wird also der Kupferstab in unserem Falle eine Bewegung ausführen, wie sie durch den Pfeil angedeutet ist.

Das Ohmsche Gesetz.

Es wird nun notwendig sein, den Faden, der uns zur elementaren Kenntnis der Dynamomaschine immer näher führen sollte, vorläufig nicht weiter zu verfolgen. Wir wollen uns inzwischen mit anderen Gesetzen und Einrichtungen befassen, die zwar nicht das eigentliche Wesen der Dynamomaschine bilden, deren Kenntnis aber für den elektrischen Betrieb unumgänglich notwendig ist; denn wir wollen ja schließlich so weit kommen, daß wir einem bestimmten, uns anvertrauten elektrischen Betriebe mit Verständnis gegenüberstehen und denselben selbständig leiten und uns in Fällen der Notwendigkeit selbst raten und helfen können.

Um von einer genannten Größe, einer Sache usw., die wir nicht sehen, eine richtige Vorstellung zu erhalten, sind wir gewohnt, irgend einen passenden, uns geläufigen Maßstab anzuwenden, so beispielsweise ein Längenmaß, Gewichtsmaß usw. Wir haben bisher die Elektrizität als solche kennen gelernt, haben aber von ihrer Menge, Wirkung usw. noch keine Vorstellung, und diese gibt uns eben das schon auf Seite 5 erwähnte Ohmsche Gesetz, das lautet:

Elektromotorische Kraft = Intensität × Widerstand.

Elektromotorische Kraft. Will man irgend einen Körper, sei es nun ein Stein, Wasser oder Gas, von einer Stelle zu einer anderen bewegen, so muß man dazu eine gewisse Kraft verwenden, die man die treibende oder bewegende (motorische) Kraft nennt. Will man Dampf aus dem Kessel weiter bringen, so ist hierzu eine bewegende Kraft, die Spannkraft oder kurzweg die Spannung des heißen Dampfes notwendig, die infolge der Erwärmung im Kessel erzeugt wird. Ohne die bewegende Kraft würde nie eine Ortsveränderung eines Körpers stattfinden, denn dieser hat das Bestreben, den einmal angenommenen Ruhezustand fortwährend zu behalten.

Ein Bach, ein Fluß u. dgl. fließt deswegen, weil ihn die bewegende Kraft der Schwere von einem höher zu einem tiefer gelegenen Orte treibt; je größer der Höhenunterschied einer gewissen Strecke ist, desto rascher wird auch der Bach fließen.

Stellen wir uns einen Wasserbehälter vor, von dem aus eine Rohrleitung in der in der Fig. 51 gezeichneten Weise nach abwärts zu einem Ventil und von da aus wieder nach aufwärts bis über den Wasserspiegel ins Reservoir zurückführt. Öffnet man das Ventil, so wird das Wasser, wie allgemein bekannt, in dem rechten Teile des Rohres so lange ansteigen, bis überall das Wasser gleich hoch steht; es hat also der Überdruck, hervorgehend aus den verschiedenen Wasserhöhen, die bewegende Kraft erzeugt. Hört der natürliche Überdruck auf, so ist auch die Bewegung zu Ende.

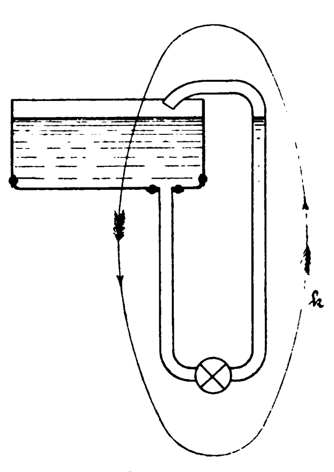


Fig. 51.

Denkt man sich an Stelle des Ventiles eine Zentrifugalpumpe, die in Rotation versetzt wird, so wird sie von links das Wasser ansaugen und rechts in die Höhe und somit ins Reservoir zurückdrücken, mit anderen, uns bereits geläufigen Worten, es entsteht ein geschlossener Stromkreis, der so lange in Bewegung erhalten wird, so lange die Zentrifugalpumpe läuft, so lange also die motorische Kraft tätig ist; bleibt die Zentrifugalpumpe stehen, so hört auch der Wasserkreislauf *K* auf. Denselben Vorgang stellen wir uns nun bei der Elektrizität vor. Wenn wir in einer Drahtleitung durch irgend einen Umstand gewahr werden, daß in derselben ein elektrischer Strom verläuft, so muß in der betreffenden Stromquelle, aus der der Strom kommt, eine **elektrizitätsbewegende**, d. i. eine **elektromotorische**

Kraft vorhanden sein, welche die Elektrizität, bildlich gesprochen, auch von einer höher gelegenen Stelle zu einer tiefer gelegenen treibt, oder wie man in der Elektrotechnik sagt, die Elektrizität von der Stelle des höheren Potentials zu derjenigen des tiefer gelegenen Potentials und wieder zurücktreibt.

Jedenfalls wird mancher noch weniger eingeweihte Leser darüber den Kopf schütteln, daß hier stets von einem geschlossenen Stromkreis die Rede ist, das Vorhandensein der Elektrizität vorausgesetzt wird und daß dieselbe, wie ein Pferd in der Zirkus-Manege, wie ein lustiger Schuljunge auf einem Karussell im Kreise herumgetrieben wird. Dem ist nun tatsächlich so! Die unsichtbare Elektrizität ist überall auf der Welt, hoch oben, tief unten vorhanden; überall, wo wir ein Element adjustieren und verbinden, bekommen wir einen elektrischen Strom; eine Dynamomaschine, die in Wien, Berlin oder Prag aufgebaut wird, liefert beim Anlassen dort ganz denselben elektrischen Strom, wie nach deren Übersiedlung nach Afrika oder Australien. Die sogenannten Stromquellen sind nichts anderes als elektrische Pumpen oder Kompressoren, welche die wirkungslose, überall um uns herumschwebende Elektrizität in Bewegung und damit zur Wirkung bringen. Luft ist überall vorhanden; doch würde sie dem Bergmanne wenig nützlich sein, wenn man sie zu dessen Arbeitsort nicht hinbewegen würde, was durch die Ventilationsmaschinen besorgt wird. Die Luft in den Strecken stellt die Stellen des niederen Potentials vor, die Außenluft die Stellen des höher gelegenen Potentials, d. h. die Grubenluft hat infolge der saugenden Wirkung des Ventilators eine kleinere Spannung als wie die Außenluft und es tritt daher eine Bewegung derselben aus der Grube ein. Da aber, wie uns ja bekannt, Flüssigkeits- und Luftspiegel Höhenunterschiede nicht vertragen, so strömt wieder die höher gespannte Außenluft an die Stelle der weniger gespannten Grubenluft und die stete Bewegung, der Kreislauf, ist hergestellt.

Wasser ist ebenfalls in der ganzen Welt vorhanden, und zwar in Bächen, Flüssen, Seen, Meeren, ferner überall

als Feuchtigkeit in der Luft und schließlich als Wolken über dem Horizont. Es herrscht hier auch eine stetige Kreisbewegung des Wassers auf der ganzen Erde, so zwar, daß die Wärmewirkung der Sonne das Wasser in Form von Dunst aus der Meeresoberfläche und vom feuchten Erdboden in die Wolken emporhebt, also auf ein höheres Potential bringt, von wo es infolge des Höhenunterschiedes in Form von Schnee und Regen auf den Boden zurückfällt, um die Quellen, Flüsse und Ströme zu speisen. Welch ein Kreislauf im großartigen Maßstab, von der Natur ununterbrochen in Bewegung erhalten!

Die luftbewegende Kraft bei einer Grubenventilationsanlage ist also der Ventilator, beim großen Kreislauf in der Natur die wasserbewegende Kraft die Sonne.

Wenn also aus einem galvanischen Element, aus einem Akkumulator oder aus einer Dynamomaschine ein elektrischer Strom kommt, so muß in den genannten Stromquellen eine elektrizitätsbewegende, also eine **elektromotorische** Kraft ihren Sitz haben. In der praktischen Elektrotechnik nennt man diese Kraft, obzwar dies nicht ganz richtig ist, allgemein **die Spannung**, und wir werden im folgenden auch nur diesen geläufigen Ausdruck gebrauchen.

Sowie nun beim Dampfbetrieb die Spannung eine Maßeinheit in der sogenannten Atmosphäre erhalten hat, so wird auch die elektrische Spannung nach einer Einheit gemessen und angegeben, die man **ein Volt** nennt. Beim Dampfbetrieb sind die spannungsanzeigenden Instrumente Manometer benannt worden, in der Elektrotechnik heißen die Spannungszeiger Voltmeter.

Intensität oder Strommenge: Den Strom selbst können wir weder messen noch wägen, da er weder sichtbar ist, noch irgend Schwere od. dgl. aufweist; aber wir haben schon einige Wirkungen des elektrischen Stromes kennen gelernt, die alle in der Erkenntnis gipfeln, daß je stärker der Strom ist, eine desto größere Wirkung auch von demselben hervorgerufen wird.

Es ist uns ja beispielsweise bekannt, daß mehrere Elemente in unserem Solenoid eine größere magnetomotorische Kraft hervorrufen, als nur ein einziges, oder daß ein Element unseren dünnen Draht nur schwach erwärmt, viele Elemente hingegen denselben eventuell gänzlich abschmelzen.

Es werden also als Maß für den elektrischen Strom seine Wirkungen benutzt.

Es ist uns beispielsweise auch bekannt, daß der elektrische Strom angesäuertes Wasser, wenn er dasselbe durchsetzt, in seine Bestandteile zerlegt; die Zerlegung geht um so rascher vor sich, je stärker der elektrische Strom ist.

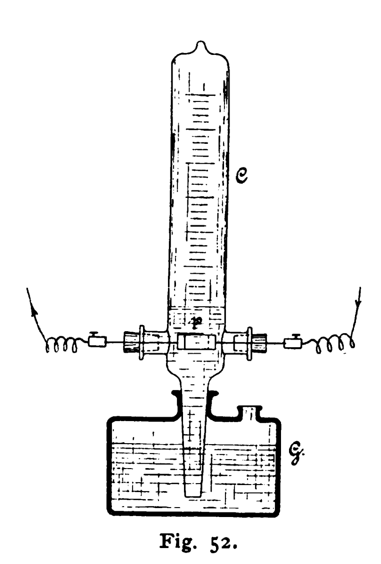


Fig. 52.

Auf Grund des absoluten Maßsystems nun, sowie mit Berücksichtigung des allgemeinen Lehrsatzes von der Äquivalenz wird nun jene Strommenge als Einheit bezeichnet, welche, ein angesäuertes Wasser durchsetzend, in der Minute 10·4 *cm*³ Knallgas erzeugt. Diese Einheit des elektrischen Stromes wird nach dem Namen eines berühmten Physikers als ein **Ampère** bezeichnet.

Ein solcher Apparat, in welchem die Wasserzersetzung mittels des elektrischen Stromes behufs Messung der Stromintensität vorgenommen wird, heißt ein Voltameter (Wohl zu unterscheiden vom Voltmeter). Die prinzipielle Anordnung desselben ist ungefähr folgende: (Fig. 52) In dem Halse eines Glasgefäßes *G* steckt mit einem langen, gut eingeschliffenen Ansatz ein in Kubikzentimeter geteilter Glaszylinder *C*, welcher seitwärts zwei Tuben besitzt, in welche man Gummistöpsel ein-

stecken kann. Durch dieselben gehen gut abgedichtete Leitungsdrähte, an deren inneren Enden Platinplatten *P* befestigt sind, die in dem Glaszylinder knapp nebeneinander liegen, aber sich nirgends berühren. Diese Platten heißen Elektroden. Der Zylinder wird vor dem Gebrauch gänzlich mit angesäuertem Wasser gefüllt. Wird nun durch die Elektroden ein elektrischer Strom durchgeschickt, so entwickelt sich aus dem Wasser Knallgas, welches nach oben steigt und das Wasser in das Gefäß *G* verdrängt.

Beispiel: Eine Gruppe von 4 Glühlampen wird für sich mit Strom gespeist; wir senden denselben durch ein Voltameter und lassen das Knallgas fünf Minuten entwickeln; die Ablesung ergab, daß nach dieser Zeit 106.10 cm^3 Knallgas entwickelt wurden. Wie viel Strom verbraucht eine Glühlampe?

$106.1 : 5 = 21.22$ Knallgas per Minute

$21{\cdot}22 : 10{\cdot}4 = 2{\cdot}04$ Ampère verbrauchen die 4 Lampen; daher verbraucht eine Lampe 0·51 Ampère.

Wie wir schon aus dem einfachen Beispiele ersehen können, wäre es bei einem halbwegs größeren Betriebe eine recht umständliche Sache, zur Messung der Intensität diese zwar absolut genauen, aber unpraktischen Apparate zu verwenden. Es wäre genau so, wie wenn man mit einem Fernrohre jedesmal eine Sonnenbeobachtung machen müßte, um zu erfahren, wie viel Uhr es ist; genau so wie im bürgerlichen Leben Uhren vorhanden sind, die uns die Zeit hinlänglich genau jeden Augenblick bequem angeben, so sind in der praktischen Elektrotechnik ebenfalls eine ganze Reihe Apparate, Ampèremeter genannt, vorhanden, die nach einem Voltameter oder einem anderen Normalinstrument geeicht sind und mit deren Prinzip wir uns später näher bekannt machen werden.

Der elektrische Widerstand: Allen Radfahrern ist es bekannt, daß es sich auf schönen Straßenbanketten leichter fährt, als wie auf einem holperigen Feldweg. Auf einer schönen, ebenen Bahn, wo das Rad beinahe gar keinen Widerstand erfährt, kommt man rascher vorwärts, als auf einer zerfahrenen oder vom Regen

durchweichten Straße. Auf einer schlechten Straße wird unsere Kraftintensität früher aufgebraucht, und um ebenso rasch vorwärts zu kommen, wie auf einer schönen Bahn, müssen wir unsere Muskulatur bedeutend mehr spannen, als sonst. Auch die Länge des Weges hat auf die Spannung unserer Kräfte einen Einfluß; denn wenn auch der Weg nicht gerade günstig ist und wir nur eine kleine Distanz zu treten haben, so werden wir uns jedenfalls nicht so ermüden, wie auf einer zwar bequemen, aber dafür sehr langen Bahn.

Zu ganz derselben Betrachtung kommen wir beim elektrischen Strome. Wir haben bereits kennen gelernt, daß ein sehr dünner, kurzer Draht zum Glühen kommt, wenn er zwischen die Pole einer genügend starken Batterie geschaltet wird. Nehmen wir mehr von diesem Draht, vielleicht das 10-, 20-, 50fache, so wird vielleicht nur noch eine fühlbare Erwärmung stattfinden; nehmen wir dagegen eine ganze Spule, so wird man von einer Erwärmung gar nichts mehr verspüren. Nach unserer dortselbst gemachten Schlußfolgerung wird bei gleicher Länge des Drahtes die Erwärmung um so stärker sein, je stärker der elektrische Strom ist; bleibt umgekehrt die elektrische Stromquelle dieselbe, so daß sie fortwährend bestrebt ist, dieselbe gleich große Stromintensität bei gleicher treibender Kraft zu liefern und erwärmt sich unser langer Draht trotzdem nicht, so muß jedenfalls ein Hindernis, ein Widerstand bestehen. Dieser läßt es nicht zu, daß bei gleicher treibender (elektromotorischer) Kraft oder Spannung dieselbe Strommenge durchfließt, wie bei einem kurzen Draht, denn sonst müßte ja der lange (immer gleich starke) Draht ebenfalls ins Glühen geraten. Es ist also in dem langen Drahte ein Widerstand vorhanden, welcher den Strom abschwächt. Dieser Widerstand ist bedingt durch die Länge des Drahtes.

Je länger ein Leiter unter sonst gleichen Umständen ist, einen um so größeren Widerstand setzt er dem elektrischen Strome entgegen.

Wollte man trotzdem dieselbe Strommenge durch den langen Draht durchbringen wie durch den kurzen,

so müßte man eine größere elektromotorische Kraft, also eine höhere Spannung verwenden.

Man sieht hier deutlich den Zusammenhang der drei Größen: Spannung, Intensität und Widerstand, die in dem Ohmschen Gesetze in Zusammenhang gebracht wurden.

Wir haben gesagt

$$\text{Elektromotorische Kraft} = \text{Intensität} \times \text{Widerstand}$$

oder

$$\text{Intensität} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}$$

Wendet man nur die Anfangsbuchstaben an, so bekommen wir die einfache Rechnungsformel:

$$I = \frac{E}{W}$$

Es gibt nun verschiedene, den elektrischen Strom fortleitende Körper, die demselben einen verschieden großen Widerstand entgegensetzen, natürlich immer gleiche Länge und gleichen Querschnitt vorausgesetzt. Bei einigen ist der Widerstand sehr gering, bei anderen ziemlich groß und endlich bei anderen fast unüberwindlich groß. Darnach unterscheidet man Leiter und Nichtleiter oder Isolatoren.

Zu den Leitern zählt man alle Metalle, wie: Silber, Kupfer, Gold, Aluminium, Zink, Platin, Eisen, Zinn, Blei, Quecksilber; ferner viele Flüssigkeiten, wie beispielsweise Schwefelsäure oder verunreinigtes Wasser.

Isolatoren sind: trockene Luft, trockenes Holz, Porzellan, Baumwolle, Glas, Seide, Gummi, Guttapercha, Asphalt, Öl usw.

Schaltet man an eine Elektrizitätsquelle von stetiger und gleicher Spannung Drähte aus verschiedenen Metallen bei gleicher Länge und gleichem Querschnitt ein und mißt jedesmal den durchgehenden Strom, so wird man bemerken, daß nicht durch alle Drähte dieselbe Strommenge durchgegangen ist. Es muß also der Wider-

stand dieser Drähte ein verschiedener sein. Nimmt man als Längeneinheit 1 *m* und als Querschnittseinheit 1 mm^2, so nennt man den Leitungswiderstand eines solchen Drahtes den **spezifischen Leitungswiderstand**. Derselbe wird abgekürzt mit dem Buchstaben *C* bezeichnet.

Als Maßeinheit des elektrischen Leitungswiderstandes wird jetzt allgemein das **Ohm** verwendet, welches mit dem griechischen Buchstaben *Ω* (Omega) bezeichnet wird.

Ein Ohm ist der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1·063 *m* Länge und einem Quadratmillimeter Querschnitt bei 0° Celsius.

Die nachfolgende Tabelle enthält spezifische Leitungswiderstände einiger gebräuchlichen Leiter.

Kupfer . . .	0·0167 Ω	oder abgerundet	$^1/_{60}$ Ω
Platin	0·094 Ω	„ „	$^1/_2$ Ω
Gold	0·020 Ω	„ „	$^1/_{50}$ Ω
Silber	0·016 Ω	„ „	$^1/_{62}$ Ω
Aluminium . .	0·033 Ω	„ „	$^1/_3$ Ω
Messing . . .	0·070 Ω	„ „	$^1/_{14}$ Ω
Eisen	0·100 Ω	„ „	$^1/_{10}$ Ω
Neusilber ca. .	0·300 Ω	„ „	$^1/_3$ Ω
Nickelin . . .	0·350 Ω	„ „	$^1/_3$ Ω
Blei	0·200 Ω	„ „	$^1/_5$ Ω
Rheotan ca. .	0·460 Ω	„ „	$^1/_2$ Ω
Constantan . .	0·510 Ω	„ „	$^1/_2$ Ω
Manganin . .	0·450 Ω	„ „	$^1/_2$ Ω
Quecksilber .	0·940 Ω	„ „	1 Ω

Die Bruchform rechts sagt mit anderen Worten, daß beispielsweise 62 *m* eines Silberdrahtes von 1 mm^2 Querschnitt ungefähr 1 Ohm Widerstand vorstellen; dagegen sind beispielsweise bei Constantan nur 2 *m* Draht notwendig, um 1 Ohm Widerstand zu erzielen. Man nennt diese Zahl das spezifische Leitungsvermögen. Also: Je länger ein Draht ist, desto größer ist sein Widerstand und umgekehrt, je größer der Querschnitt des Drahtes, desto kleiner wird der Widerstand.

1. Beispiel: Es wird vom Schaltbrett ein Draht von 5 *mm*² Querschnitt zu einem kleineren Motor in der Werkstätte, die 165 *m* weit ist, gespannt. Wie groß ist der Widerstand dieser Leitung?

1 *m* Kupferdraht hat rund 0·017 Ω Widerstand, daher haben 330 *m* Draht (nämlich die doppelte Entfernung, d. i. 2 × 165 *m*, also hin und zurück) 330 mal soviel Widerstand, also:

$$330 \times 0{\cdot}017 = 5{\cdot}61\ \Omega.$$

Nun hat aber unser Draht nicht 1, sondern 5 *mm*² im Querschnitt, es ist also sein Widerstand nur der fünfte Teil des oben berechneten Betrages, somit:

$$5{\cdot}61 : 5 = 1{\cdot}122 \text{ Ohm.}$$

Diese hier vorgeführte Rechnungsoperation lautet in Worten folgendermaßen:

$$\text{Widerstand} = \frac{\text{spezifischer Leitungswiderstand} \times \text{Länge}}{\text{Querschnitt}}$$

Wählen wir statt der Worte die üblichen algebraischen Zeichen, so bekommen wir die einfache Formel:

$$W = \frac{C \times l}{q}$$

Wie aus dieser Formel leicht zu entnehmen ist, läßt sich, wenn der Widerstand und der Querschnitt eines Drahtes gegeben sind, leicht dessen Länge berechnen, und wenn die Länge und der Widerstand gegeben sind, der Querschnitt bestimmen.

Hat man den Querschnitt q in *mm*² berechnet, so ergibt sich der Drahtdurchmesser aus der Gleichung:

$$q = \frac{\pi d^2}{4}$$

Um rascher und leichter rechnen zu können, ist hier eine Tabelle beigegeben, in welcher neben dem Durchmesser gleich immer der entsprechende Querschnitt zu finden ist.

Kreisumfang und Kreisfläche.

d	πd	$\frac{\pi}{4}d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4}d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4}d^2$
0·02	0·0628	0·0003	3	9·425	7·069	7	21·99	38·48
0·04	0·1257	0·0013	3·1	9·739	7·548	7·1	22·31	39·59
0·06	0·1885	0·0028	3·2	10·053	8·042	7·2	22·62	40·72
0·08	0·2513	0·0050	3·3	10·367	8·553	7·3	22·93	41·85
0·1	0·3142	0·0079	3·4	10·681	9·079	7·4	23·25	43·01
0·15	0·4712	0·0177	3·5	10·996	9·621	7·5	23·56	44·18
0·2	0·6283	0·0314	3·6	11·310	10·179	7·6	23·88	45·36
0·25	0·7854	0·0491	3·7	11·624	10·752	7·7	24·19	46·57
0·3	0·9425	0·0707	3·8	11·938	11·341	7·8	24·50	47·78
0·35	1·0996	0·0962	3·9	12·252	11·946	7·9	24·82	49·02
0·4	1·2566	0·1257	4	12·566	12·566	8	25·13	50·27
0·45	1·4137	0·1590	4·1	12·881	13·203	8·1	25·45	51·53
0·5	1·5708	0·1964	4·2	13·195	13·854	8·2	25·76	52·81
0·55	1·7279	0·2376	4·3	13·509	14·522	8·3	26·08	54·11
0·6	1·885	0·283	4·4	13·823	15·205	8·4	26·39	55·42
0·65	2·042	0·332	4·5	14·137	15·904	8·5	26·70	56·75
0·7	2·199	0·385	4·6	14·451	16·619	8·6	27·02	58·09
0·75	2·356	0·442	4·7	14·765	17·349	8·7	27·33	59·45
0·8	2·513	0·503	4·8	15·080	18·096	8·8	27·65	60·82
0·9	2·827	0·636	4·9	15·394	18·857	8·9	27·96	62·21
1	3·142	0·785	5	15·708	19·635	9	28·27	63·62
1·1	3·456	0·950	5·1	16·022	20·428	9·1	28·59	65·04
1·2	3·770	1·131	5·2	16·336	21·237	9·2	28·90	66·48
1·3	4·084	1·327	5·3	16·650	22·062	9·3	29·22	67·93
1·4	4·398	1·539	5·4	16·965	22·902	9·4	29·53	69·40
1·5	4·712	1·767	5·5	17·279	23·758	9·5	29·85	70·88
1·6	5·027	2·011	5·6	17·593	24·630	9·6	30·16	72.38
1·7	5·341	2·270	5·7	17·907	25·518	9·7	30·47	73·90
1·8	5·655	2·545	5·8	18·221	26·421	9·8	30·88	75·43
1·9	5·969	2·835	5·9	18·535	27·340	9·9	31·10	76·98
2	6·283	3·142	6	18·85	28·27	10	31·42	78·54
2·1	6·597	3·464	6·1	19·16	29·22	10·1	31·73	80·12
2·2	6·912	3·801	6·2	19·48	30·19	10·2	32·04	81·72
2·3	7·226	4·155	6·3	19·79	31·17	10·3	32·36	83·32
2·4	7·540	4·524	6·4	20·11	32·17	10·4	32·67	84·95
2·5	7·854	4·909	6·5	20·42	33·18	10·5	32.99	86·59
2·6	8·168	5·309	6·6	20·74	34·21	10·6	33·30	88·25
2·7	8·482	5·726	6·7	21·05	35·26	10·7	33·62	89·92
2·8	8·797	6·158	6·8	21·36	36·32	10·8	33·93	91·61
2·9	9·111	6·605	6·9	21·68	37·39	10·9	34·24	93·31

d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$
11	34·56	95·03	15·3	48·07	183·85	19·6	61·58	301·72
11·1	34·87	96·77	15·4	48·38	186·27	19·7	61·89	304·81
11·2	35·19	98·52	15·5	48·70	188·69	19·8	62·20	307·92
11·3	35·50	100·29	15·6	49·01	191·13	19·9	62·52	311·03
11·4	35·81	102·07	15·7	49·32	193·59	20	62·83	314·16
11·5	36·13	103·87	15·8	49·64	196·07	20·1	63·15	317·31
11·6	36·44	105·68	15·9	49·95	198·56	20·2	63·46	320·47
11·7	36·76	107·51	16	50·27	201·06	20·3	63·77	323·66
11·8	37·07	109·36	16·1	50·58	203·58	20·4	64·09	326·85
11·9	37·39	111·22	16·2	50·89	206·12	20·5	64·40	330·06
12	37·70	113·10	16·3	51·21	208·67	20·6	64·72	333·29
12·1	38·01	114·99	16·4	51·52	211·24	20·7	65·03	336·54
12·2	38·33	116·90	16·5	51·84	213·83	20·8	65·35	339·80
12·3	38·64	118·81	16·6	52·15	216·42	20·9	65·66	343·07
12·4	38·96	120·76	16·7	52·47	219·04	21	65·97	346·36
12·5	39·27	122·72	16·8	52·78	221·67	22	69·12	380·13
12·6	39·58	124·69	16·9	53·09	224·32	23	72·26	415·48
12·7	39·90	126·68	17	53·41	226·98	24	75·40	452·39
12·8	40·21	128·68	17·1	53·72	229·66	25	78·54	490·87
12·9	40·53	130·70	17·2	54·04	232·35	26	81·68	530·93
13	40·84	132·73	17·3	54·35	235·06	27	84·82	572·56
13·1	41·16	134·78	17·4	54·66	237·79	28	87·97	615·75
13·2	41·47	136·85	17·5	54·98	240·53	29	92·11	660·52
13·3	41·78	138·93	17·6	55·29	243·29	30	94·25	706·86
13·4	42·10	141·03	17·7	55·61	246·06	31	97·39	754·77
13·5	42·41	143·14	17·8	55·92	248·85	32	100·53	804·25
13·6	42·73	145·27	17·9	56·24	251·65	33	103·67	855·30
13·7	43·04	147·41	18	56·55	254·47	34	106·81	907·92
13·8	43·35	149·57	18·1	56·86	257·30	35	109·96	962·11
13·9	43·67	151·75	18·2	57·18	260·16	36	113.10	1017·9
14	43·98	153·94	18·3	57·49	263·02	37	116·24	1075·2
14·1	44·30	156·15	18·4	57·80	265·90	38	119·38	1134·1
14·2	44·61	158·37	18·5	58·12	268·80	39	122·53	1194·6
14·3	44·93	160·61	18·6	58·43	271·72	40	125·66	1256·6
14·4	45·24	162·86	18·7	58·75	274·65	41	128·8	1320·3
14·5	45·55	165·13	18·8	59·06	277·59	42	132·0	1385·4
14·6	45·87	167·42	18·9	59·38	280·55	43	135·1	1452·2
14·7	46·18	169·72	19	59·69	283·53	44	138·2	1520·5
14·8	46·50	172·03	19·1	60·00	286·52	45	141·4	1590·4
14·9	46·81	174·37	19·2	60·32	289·53	46	144·5	1661·9
15	47·12	176·72	19·3	60·63	292·55	47	147·7	1734·9
15·1	47·44	179·08	19·4	60·95	295·59	48	150·8	1809·6
15·2	47·75	181·46	19·5	61·26	298·65	49	153·9	1885·7

d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$	d	πd	$\frac{\pi}{4} d^2$
50	157·1	1963·5	67	210·5	3525·7	84	263·9	5541·8
51	160·2	2042·8	68	213·6	3631·7	85	267·0	5674·5
52	163·4	2123.7	69	216·8	3739·3	86	270·2	5808·8
53	166·5	2206·2	70	219·9	3848·5	87	273·3	5944·7
54	169·7	2290·2	71	223·1	3959·2	88	276·5	6082·1
55	172·8	2375·8	72	226·2	4071·5	89	279·6	6221·1
56	175·9	2463·0	73	229·3	4185·4	90	282·7	6361·7
57	179·1	2551·8	74	232·5	4300·8	91	285·9	6503·9
58	182·2	2642·1	75	235·6	4417·9	92	289·0	6647·6
59	185·4	2734·0	76	238·8	4536·5	93	292·2	6792·9
60	188·5	2827·4	77	241·9	4656·6	94	295·3	6939·8
61	191·6	2922·5	78	245·0	4778·4	95	298·5	7088·2
62	194·8	3019·1	79	248·2	4901·7	96	301·6	7238·2
63	197·9	3117·3	80	251·3	5026·6	97	304·7	7389·8
64	201·1	3217·0	81	254·5	5153·0	98	307·9	7543·0
65	204·2	3318·3	82	257·6	5281·0	99	311·0	7697·7
66	207·4	3421·2	83	260·8	5410·6	100	314·2	7854·0

Wir haben uns nun mit dem Ohmschen Gesetze bekannt gemacht und es erübrigt uns nun an einigen praktischen Beispielen die Vielseitigkeit seiner Anwendung in der Praxis kennen zu lernen, um uns gleichzeitig eine gewisse Fertigkeit im Gebrauche desselben anzueignen.

2. Beispiel: Von der elektrischen Zentrale führt ein Kabel durch den Schacht in die Grube. Die Entfernung des Schaltbrettes vom Tagkranz beträgt 50 *m*, die Schachttiefe bis zum Füllort 460 *m*. Das Kabel besteht aus 25 Drähten à 2·2 *mm* Durchmesser. Im Füllort zweigt von dem Kabel eine Drahtleitung von 5 *mm* Durchmesser ab, die in Strecken zu einer Fallortpumpe Strom von 25 Ampère Intensität bei 450 Volt Spannung führt. Die Länge dieser Streckenleitung (Entfernung) ist 920 *m*. Wie groß ist der Spannungsverlust in der Leitung, d. h. mit welcher Klemmenspannung kommt der Strom beim Pumpenmotor an?

Vorerst berechnen wir uns den Querschnitt des Kabels. Ein Draht von 2·2 *mm* Durchmesser hat

nach der Tabelle 3·8 mm^2 Querschnitt; daher haben 25 Drähte

$$3{\cdot}8 \times 25 = 95\ mm^2.$$

Die Länge hin und zurück ist:

$$50 + 460 = 510 \times 2 = 1020\ m$$

$$w = \frac{c \times l}{q} = \frac{0{\cdot}017 \times 1020}{95} = 0{\cdot}182\ \Omega$$

ist der Widerstand des Kabels.

$$w = \frac{c \times l}{q} = \frac{0{\cdot}017 \times (2 \times 920)}{15{\cdot}7} = 1{\cdot}99$$

also rund 2 Ω ist der Widerstand der Streckenleitung.

Nach dem Ohmschen Gesetze ist die Spannung zwischen zwei Punkten:

$$e = i \times w;$$

i ist der Strom von 25 Ampère, welchen der Motor aufnimmt. Dieser Strom geht vom Schaltbrett durch das Kabel und die Streckenleitung, muß also die oben berechneten Widerstände passieren. Also:

$$0{\cdot}182 + 2 = 2{\cdot}182 \text{ Ohm};$$

durch diesen Widerstand werden 25 Ampère getrieben; das gibt einen Spannungsverbrauch von:

$$e = 25 \times 2{\cdot}182 = 54{\cdot}5 \text{ Volt,}$$

was nichts anderes ist als der fragliche Spannungsverlust.

Diese Volt gehen unterwegs verloren, so daß beim Motor noch eine Spannung von 399·5 Volt zu gewärtigen ist.

3. Beispiel: Wir haben ein transportables Voltmeter für 150 Volt; nach der Angabe der Fabrik ist der gemessene Widerstand desselben 16290 Ω; wieviel Ampère nimmt ein solches Instrument auf, wenn es eingeschaltet wird?

$$e = i \times w;\ i = \frac{e}{w} = \frac{150}{16290} = 0{\cdot}00092 \text{ Ampère.}$$

also ein ganz geringer Betrag.

4. Beispiel: Von der Zentrale soll ins neu aufgebaute Wohn- und Kanzleigebäude, welches 260 *m* entfernt ist, zu einer Lampengruppe von 32 Glühlampen à 16 Normalkerzen (= *NK*) eine Leitung gespannt werden. Die Lampen sind für 110 Volt Spannung, die Zentrale hat am Schaltbrett 118 Volt. Der Strom soll im Gebäude mit 110 Volt ankommen. Wie stark soll die Leitung werden?

Wir haben also einen Spannungsverlust von 8 Volt zulässig.

Eine normale Glühlampe für 110 Volt Spannung verbraucht rund 0·5 Ampère; also müssen unserer Lampengruppe $32 \times 0{\cdot}5 = 16$ Amp. zugeleitet werden.

$$e = i \times w;\ 8 = 16 \times w$$

daraus $w = 0{\cdot}5$ Ohm, d. h. diesen Widerstand darf die Leitung höchstens haben, um nicht mehr als 8 Volt Spannungsverlust hervorzurufen. Es sind uns jetzt Widerstand und Länge der Leitung gegeben, wir können also den Querschnitt rechnen.

$$w = \frac{c \times l}{q} = \frac{0{\cdot}017 \times (2 \times 260)}{q}$$

Daraus der Querschnitt $q = 16{\cdot}7\ mm^2$, was nach der Tabelle ungefähr einen Durchmesser von 4·6 *mm* ergibt.

Da ein kurzer Draht dem Strome einen geringen Widerstand entgegensetzt, so kann er unter Umständen doch von einem so starken Strome durchflossen werden, daß der Draht ins Glühen kommt, was wir ja eigentlich nicht wünschen. Es wurde durch Versuche und Erfahrung festgestellt, wie stark ein Quadratmillimeter des Querschnittes höchstens belastet werden darf, damit der Draht nicht warm oder glühend wird, denn solche Zustände bedeuten nichts anderes als einen Arbeitsverlust, abgesehen von anderen Unannehm-

lichkeiten und Gefahren. Es wird also gewöhnlich die Belastung pro 1 mm^2 ungefähr folgend angenommen:

Bei dünnen Drähten wählt man pro 1 mm^2 eine größere, bei stärkeren Drähten und bei Kabeln eine kleinere Einheitsbelastung, also folgendermaßen:

Querschnitt in mm^2	Zulässige Stromstärke in Ampère
0·75	4
1·00	6
1·50	10
2·50	15
4·00	20
6·00	30
10·00	40
16·00	60
25·00	80
35·00	90
50·00	100
70·00	130
95·00	165
120·00	200
150·00	235
185·00	275
240·00	330
310·00	400
400·00	500
500·00	600

5. Beispiel: Den in Fig. 20, 23 und 42 vorgeführten Elektromagnet meines Laboratoriums wollen wir an ein Beleuchtungsnetz von 110 Volt Spannung anschließen; können wir dies ohne weiteres machen, ohne Gefahr zu laufen, daß uns die Bewickelung vielleicht infolge eines zu starken Stromes verbrennt? Der Widerstand der Spulen beträgt (da er gemessen wurde) 0·85 Ohm; der Drahtquerschnitt ist 4·9 mm^2.

$$i = \frac{e}{w} = \frac{110}{w} = \frac{110}{0{\cdot}85} = 129 \text{ Ampère.}$$

Sehen wir in unserer Tabelle nach, so finden wir dort als zulässige Belastung für den Querschnitt von 6 mm^2

erst 30 Ampère. Es würde also unser Draht auf den Spulen sofort ins Glühen kommen und die Umspinnung desselben ginge zugrunde, oder die Stromquelle würde selbst leiden oder die Schmelzsicherungen der Lichtleitung würden sofort abschmelzen. Es ist hier zu wenig Widerstand vorhanden und es liegt an der Hand, daß wir denselben soweit vermehren müssen, daß nicht mehr als höchstens 30 Ampère in die Spulen gelangen, d. h. wir müssen den letzteren einen passenden Widerstand vorschalten.



Fig. 53.

Solche vorausberechnete und mit einer Reihe von Widerständen versehene Apparate, die dazu dienen, um bequem elektrischen Verbrauchsapparaten vorgeschaltet werden zu können, heißen Rheostate.

Machen wir einen Einblick in die Tabelle der spezifischen Leitungswiderstände, so finden wir dort Nickelin und Constantan, zwei Metallkompositionen, die gegen Kupfer einen sehr hohen spezifischen Widerstand haben, und solche Leiter werden auch vorwiegend zur Erzeugung von Widerständen benutzt, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil die Drahtlängen viel geringer ausfallen als es beispielsweise beim Kupfer der Fall wäre. Die Widerstandsdrähte für technische Widerstände sind blank und werden zu Spiralen zusammen-

gewickelt. Ein Rheostat besteht demnach aus Drahtspiralen, einer Kontaktkurbel und Kontakten; in den Fig. 53 und 54 finden wir solche Rheostate abgebildet. Verfolgen wir den Stromdurchgang in der Fig. 53; bei der + Klemme tritt der Strom ein, geht auf- und abwärts durch die Spiralen und durch den dicken Draht bis zum Kontaktknopf 25, auf dem sich gerade die Kurbel befindet. Infolge des geringen Widerstandes der letzteren geht der Strom durch dieselbe zur negativen Klemme und weiter zur Verbrauchsstelle; bei der gezeichneten Stellung der Kurbel muß also der Strom einen Widerstand von 25 Ohm durchlaufen. Stellt man die Kurbel auf den Kontakt 50, so muß der Strom den ganzen Rheostat, also sämtliche Spiralen durchlaufen. Auch bei diesen Widerständen, wie überhaupt bei allen vom elektrischen Strom durchflossenen Verbrauchsapparaten darf ein Quadratmillimeter Querschnittfläche nur mit einer bestimmten Anzahl Ampère belastet werden.

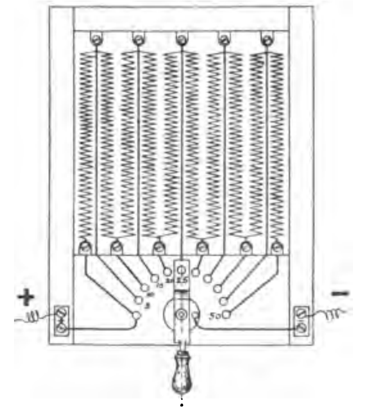


Fig. 54.

Kehren wir nun zu unserem 5. Beispiel zurück. Wir haben aus der Tabelle herausgefunden, daß wir unseren Elektromagnet höchstens mit 30 Ampère belasten dürfen. Nehmen wir uns vor, denselben normal mit 20 Ampère zu belasten; der übrige Strom ist durch einen Vorschaltwiderstand abzuhalten; wie groß muß er sein?

$$w = \frac{e}{i} = \frac{110}{20} = 5 \text{ Ohm}$$

brauchen wir im ganzen, damit nicht mehr als 20 Ampère in unseren Magnet gelangen. Die Spulen desselben

haben 0·85 Ω; es bleiben also als Vorschaltwiderstand 4·15 Ω.

6. Beispiel: In einer Entfernung von 800 *m* von der Zentrale ist eine Trinkwasser-Pumpstation mit elektrischem Antrieb aufzustellen. Es sollen derselben 20 *PS* zugeleitet werden; in der Zentrale ist die Klemmenspannung des Gleichstromes 500 Volt; unterwegs dürfen in der Leitung 2 *PS* verloren gehen. Wie stark muß die Freileitung werden?

Es müssen also von der Zentrale aus 22 *PS* heraustreten, das sind $22 \times 736 = 16192$ Watt; bei 500 Volt Klemmenspannung sind das $16192 : 500 \cong 32·5$ Ampère.

Unterwegs dürfen $2\ PS = 736 \times 2 = 1472$ Watt verloren gehen; bei 32·5 Ampère sind das rund

$$1472 : 32·5 \cong 45 \text{ Volt.}$$

Diese Zahl stellt uns den Spannungsverlust *e* vor. Aus diesem können wir nun, ähnlich wie im Beispiele 4, den Querschnitt der Leitung berechnen.

Aus dem 5. Beispiel können wir ersehen, daß es nicht ohne weiteres möglich ist, einen beliebigen Verbrauchsapparat an eine Stromquelle anzuschließen. Bevor man einen solchen noch unbekannten Apparat (Solenoid, Motor, Meßinstrument, Ausschalter usw.) anschließt, muß man sich darüber klar werden, welche Strommenge der Apparat annehmen werde und ob er sie vertragen könnte, ohne Schaden zu erleiden?

In unserem 5. Beispiel war es ein vorhergesehener, vorauszubestimmender Fall, daß der Strom zu einer solchen Höhe ansteigen könnte. Doch treten oft auch unerwartete Fälle ein, wo durch Zufall der Strom zu einer unerwarteten und ungewünschten Höhe ansteigt. Es kann nämlich in der Leitung oder im Verbrauchsapparat ein sogenannter **Kurzschluß** eintreten.

Dadurch, daß beispielsweise die nebeneinander laufenden Leitungsdrähte in Berührung kommen, oder daß eine böswillige Hand über die Leitungen einen leitenden Gegenstand legt oder wirft, geht dann der Strom über diese neue Brücke und nicht mehr über die

noch restliche Leitung und durch den Verbrauchsapparat, der Widerstand wird also kleiner, wodurch die Stromstärke zunimmt, was soweit gehen kann, daß die Leitungsdrähte oder die Bewickelung der Dynamomaschine in Rotglut kommen und leicht zu Feuersgefahr Veranlassung geben können, abgesehen davon, daß sie jedenfalls selbst Schaden leiden, oder gar die Dynamomaschine betriebsunfähig wird.

Gegen solche unvorhergesehene Betriebsstörungen durch unerwartet ansteigende Stromstärken bestehen sogenannte Abschmelzsicherungen. Es werden nämlich in die zu sichernden Leitungen Metalldrähte, Streifen oder Gitter aus leicht schmelzbaren Metallen oder deren Legierungen eingeschaltet, deren Querschnitt so bemessen ist, daß beim Anwachsen des Stromes bis zu einer gewissen Höhe, welche die ganze Leitung bereits gefährden könnte, die Sicherung abschmilzt, wodurch die Leitung stromlos wird und eine weitere Erwärmung derselben daher nicht eintreten kann.

Es ist also bei einer richtig und zweckmäßig angelegten Anlage notwendig, daß jedem Verbrauchsapparat, wie beispielsweise einem Motor, einer Lampengruppe usw. Schmelzsicherungen vorgeschaltet werden! Wird Strom in ein größeres Gebäude oder in eine große Räumlichkeit eingeführt, die von einer ganzen Glühlampengruppe beleuchtet werden soll, so ist es zweckmäßig, die Schmelzsicherungen nicht in die Hauptleitung zu legen, sondern die Glühlampen in einzelne kleinere Gruppen zu teilen und jede Gruppe für sich zu versichern. Es hat dies den Vorteil, daß bei eintretendem Kurzschluß in einer der Gruppen nicht das ganze Haus oder die Räumlichkeit auf einmal ohne Beleuchtung ist. Jede Sicherung muß feuersicher verwahrt werden! Sie wird deshalb auf Marmor, Schiefer u. dgl. montiert und mit einer Blechkapsel überdeckt, welche inwendig mit Asbestpappe u. dgl. ausgefüttert ist. Der Wärter darf sich nicht erlauben, andere als die ursprünglich vom Installateur eingeführten Sicherungen einzusetzen! Es ist ja in der Praxis allzugut bekannt, daß bei häufiger Abschmelzung einer Sicherung infolge

eines unbekannten Isolationsfehlers sich der Maschinist einfach dadurch hilft, daß er eine stärkere Sicherung einsetzt. Dies ist aber ein großer Fehler. Es wäre dies geradeso, sagt ein bewährter Praktiker und Theoretiker, wie wenn ein Heizer ein blasendes Sicherheitsventil mehr belastet oder gar anbindet; das Ventil hört freilich auf zu blasen, aber der Kessel kann zum Teufel gehen.

Brennt eine Sicherung unter sonst gleichen Umständen, ohne daß sie eine Mehrbelastung durch Anhängung weiterer Lampen od. dgl. erfahren hätte, trotzdem häufig durch, so ist nicht die Sicherung zu verstärken, sondern es ist nach der Ursache zu suchen, die jedenfalls immer in einem Erdschluß zu finden sein wird. Etwas anderes ist es, wenn im Verlaufe der Zeit eine Gruppe immer mehr belastet wird, dann muß natürlich der Mehrbelastung entsprechend auch die Sicherung gegen eine stärkere ausgewechselt werden. Für die Sicherungen sind eigene Fassungen, Dosen usw. in Verwendung, die jederzeit leicht ersetzt werden können.

Die Stromverzweigung.

Wenn ein Bach oder ein Fluß in seinem Verlauf eine Verzweigung bildet, so daß eine Insel entsteht, wissen wir, daß die durch die beiden Arme fließende Wassermenge genau dieselbe ist wie diejenige vor oder hinter der Insel; weiters ist uns auch klar, daß durch denjenigen Arm mehr Wasser fließt, der weniger Hindernisse aufweist. Diese Hindernisse sind bedingt durch den Querschnitt des Flußbettes und dessen Beschaffenheit, ob es viel Gerölle, Felsentrümmer auf dem Boden und Gestrüpp an den Ufern gibt oder nicht.

Wenn wir in der Grube genötigt sind, den Hauptwetterstrom in zwei Parallelströme zu teilen, so wissen wir, daß die Wettermenge in den beiden Verzweigungen zusammen ebenso groß wie diejenige in der Hauptwetterstrecke vor oder nach der Teilung ist, ferner daß in der Zeiteinheit (Minute) mehr Wetter durch diejenige der beiden Strecken gehen, die ihnen einen ge-

ringeren Widerstand entgegensetzt. Der Wetterwiderstand ist bekanntlich abhängig von der Länge seines Weges und dessen Querschnitt. In der Fig. 55 haben wir eine solche Wetterteilung vorgeführt. Durch die Grundstrecke „*G*" wird, weil dieselbe geräumiger und kürzer ist, jedenfalls ein größerer Wetterstrom durchgehen als durch die Nebenstrecke „*N*", die viel länger und enger ist; ja in dem hier aus der Praxis vorgeführten Falle sind mit dem Vorwärtskommen der Orte „*O*" in die Strecke *N* beinahe gar keine Wetter gegangen. Es muß also in einem solchen Falle der Widerstand in *G* größer gemacht werden, d. h. man muß gleichsam wie bei einem Wasserkanal die Wetter stauen, um sie in den Nebenarm zu treiben, beispielsweise dadurch, daß man bei *t* eine ungenügend schließende und mit einem entsprechenden Ausschnitt versehene Tür anbringt, also mehr Widerstand einschaltet.

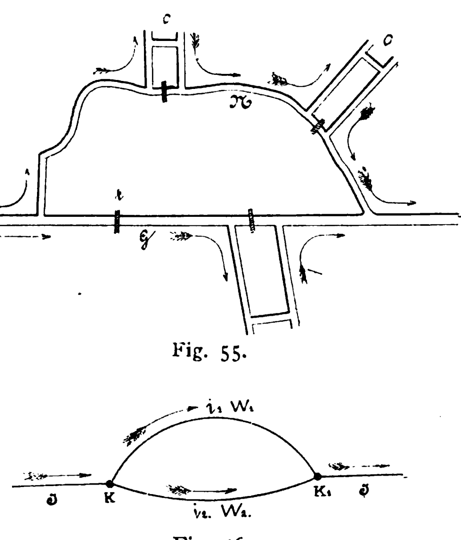


Fig. 55.

Fig. 56.

Teilen wir, wie Fig. 56 andeutet, den elektrischen Strom im Punkte *K* in zwei Zweige, so wird sich die in denselben eintretende Strommenge *I* in die Mengen i_1 und i_2 teilen, so daß deren Summe gleich *I* ist.

$$i_1 + i_2 = I.$$

Nach dem Ohmschen Gesetze ist die Spannung zwischen zwei Punkten gleich $i \times w$; es ist also zwischen K und K_1 das einemal

$$e = i_1 \times w_1,$$

das anderemal

$$e = i_2 \times w_2;$$

es ist somit auch

$$i_1 \times w_1 = i_2 \times w_2.$$

Aus dieser Rechnungsformel läßt sich ersehen, daß man die durch den einen oder den anderen Stromzweig durchfließende Strommenge berechnen kann, wenn die Widerstände derselben gegeben sind, und umgekehrt

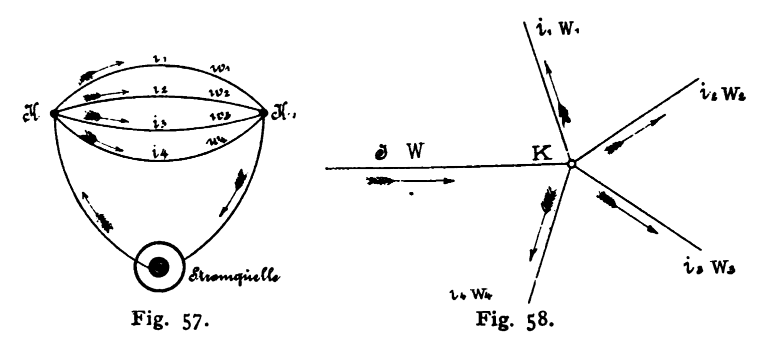


Fig. 57. Fig. 58.

aus bekannten Strommengen den einen oder anderen Widerstand. Es verzweigt sich also ein Strom in zwei oder auch mehreren parallelen Zweigen in der Weise, daß in jedem Zweige das Produkt aus Stromstärke und Widerstand gleich ist der Spannung an den Knotenpunkten (K und K_1 in Fig. 57). Es ist also

$$i_1 \times w_1 = i_2 \times w_2 = i_3 \times w_3 = i_4 \times w_4 = e.$$

Die hier angeführten Gleichungen werden ausgedrückt in den beiden **Kirchhoffschen Regeln**, welche lauten:

1. In jedem Verzweigungspunkte ist die Summe der Stromstärken gleich Null, wenn man den ankommen-

den Strömen das entgegengesetzte Vorzeichen gibt wie den wegfließenden. Fig. 58 führt uns einen solchen Knotenpunkt K vor in welchen der Strom I eintritt, und aus dem wieder die Ströme i_1, i_2, i_3 und i_4 austreten. Rechnerisch ausgedrückt, heißt das Gesetz:

$$I - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4) = 0.$$

2. In einem geschlossenen Stromkreis ist die Summe der Produkte aus den Widerständen und den zugehörigen Stromstärken gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte, wobei letztere, sowie die Stromstärken nach der einen Richtung mit positiven, nach der anderen mit negativen Vorzeichen versehen werden.

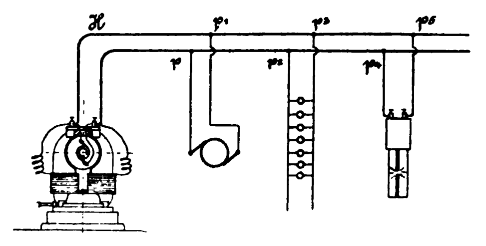


Fig. 59.

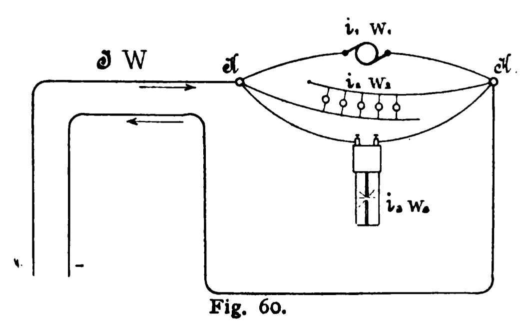


Fig. 60.

Die Verzweigung kann also in beliebig viele Äste vorgenommen werden. Die Summe der Teilströme gleicht immer dem Hauptstrom, wobei die Klemmenspannung für jeden Zweig immer dieselbe bleibt. Man nennt eine solche Verzweigung eine **Parallelschaltung**. Man kann sich in jedem der Zweige einen Verbrauchsapparat denken, wie beispielsweise einen Motor, eine Gruppe von Glühlampen, eine Bogenlampe etc. (Fig. 59). Alle diese Apparatez weigen von der Hauptleitung H parallel,

also nebeneinander ab, denn es könnten ja die Abzweigpunkte p, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 ebensogut in die zwei identischen Knotenpunkte K und K_1 (Fig. 60) zusammengeschoben werden.

Dieses in Fig. 59 veranschaulichte praktische Beispiel wollen wir auf Grund einer ziffermäßigen Berechnung eingehender betrachten. Die Klemmenspannung der Maschine, also auch der Hauptleitung ist 120 Volt. Der gemessene Widerstand des Motors beträgt 4 Ohm, derjenige einer Gruppe von Glühlampen 12 Ohm und schließlich derjenige der Bogenlampe samt Beruhigungswiderständen 8 Ohm. Frage: Wieviel Strom geht in jeden der Apparate, beziehungsweise wieviel muß die Maschine liefern?

Nach dem Ohmschen Gesetze ist die in den Motor fließende Strommenge

$$i_1 = \frac{e}{w_1} = \frac{120 \text{ Volt}}{4 \text{ Ohm}} = 30 \text{ Ampère.}$$

Die Glühlampen nehmen nach dem Ohmschen Gesetze auf

$$i_2 = \frac{e}{w_2} = \frac{120 \text{ Volt}}{12 \text{ Ohm}} = 10 \text{ Ampère}$$

und die Bogenlampe:

$$i_3 = \frac{e}{w_3} = \frac{120 \text{ Volt}}{8 \text{ Ohm}} = 15 \text{ Ampère.}$$

Zusammen muß also die Maschine für diese Zweige

$$30 + 10 + 15 = 55 \text{ Ampère}$$

abgeben.

Wenden wir nun weiter das Ohmsche Gesetz auf die beiden, von den Klemmen der Maschine kommenden Größen an, das ist nämlich 120 Volt und 55 Ampère, so erhalten wir einen Widerstand von

$$120 : 55 = 2{\cdot}182 \text{ Ohm,}$$

d. h.: Wenn wir in die Hauptleitung an Stelle der parallel geschalteten Apparate einen einzigen Apparat zu schalten hätten, durch den ein Strom von 55 Ampère fließen sollte, so müßte derselbe einen Widerstand von 2·182 Ohm haben. Man nennt diesen mit parallel geschalteten Widerständen identischen Widerstand den resultierenden Widerstand der parallelen Zweige. Dieser Widerstand ist immer kleiner, als jeder von den Einzelwiderständen.

Es ist also der resultierende Widerstand

$$W = \frac{e}{I}$$

$e =$ Klemmenspannung,
$I =$ Strom in der Hauptleitung, also ungeteilter Strom.

Wir können diese Formel, ohne daß dadurch an dem Resultat etwas geändert wird, auch so schreiben:

$$\frac{W}{1} = \frac{e}{I};$$

nun verkehren wir diese Gleichung, so wird wieder nichts an derselben geändert und wir bekommen:

$$\frac{1}{W} = \frac{I}{e}$$

Sowie wir nun diesen Gesamtwiderstand in diese Form gebracht haben, so können wir es auch mit den Zweigwiderständen vornehmen, also:

$$\frac{1}{w_1} = \frac{i_1}{e}$$

$$\frac{1}{w_2} = \frac{i_2}{e}$$

$$\frac{1}{w_3} = \frac{i_3}{e}$$

Wir kennen bereits die Gleichung $I = i_1 + i_2 + i_3$, daß nämlich die Summe der Teilströme gleich ist dem Hauptstrom. An dieser Gleichung wird nichts geändert, wenn wir sie durch die Spannung e dividieren; also:

$$\frac{I}{e} = \frac{i_1}{e} + \frac{i_2}{e} + \frac{i_3}{e}$$

anstatt dieser Werte setzen wir die oberen ein und bekommen

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3}$$

Was heißt das, und welchen Nutzen können wir aus dieser neuen Gleichung ziehen?

Die Zahl W stellt irgend einen bestimmten Wert vor; wenn wir nun die Zahl Eins durch diesen Wert dividieren, so heißt der so erhaltene Ausdruck der **reziproke Wert** dieser Zahl. Es wird also die obere Gleichung in Worten ausgedrückt heißen: Der reziproke Wert des resultierenden Widerstandes ist gleich der Summe der reziproken Werte der Zweigwiderstände. Die Ohmsche Gleichung für die Stromstärke heißt:

$$i = \frac{e}{w}$$

wird beispielsweise $e = 1$ Volt, so lautet die Gleichung:

$$i = \frac{1}{w}$$

benutzen wir diese Gleichung auf unser auf Seite 66 durchgerechnetes Beispiel, in dem wir für die Berechnung der Zweigströme nicht 120 Volt, sondern bloß ein Volt zugrunde legen, so erhalten wir die Zweigströme der Reihe nach mit:

$$i_1 = \frac{1}{4} = 0{\cdot}25$$

$$i_2 = \frac{1}{12} = 0{\cdot}083$$

$$i_3 = \frac{1}{8} = 0{\cdot}125$$

$$I = 0{\cdot}458$$

d. h. bei ein Volt Klemmenspannung würde die Maschine in die Apparate 0·458 Ampère liefern, also bei 120 Volt

$$0{\cdot}458 \times 120 = 55 \text{ Ampère},$$

wie auf Seite 66 berechnet wurde.

Der resultierende Widerstand bei 1 Volt Spannung ergibt sich mit:
1 : 0·458 = **2·18** Ohm, also ganz derselbe wie auf Seite 66. Aus dieser Rechnungsstudie haben wir nun kennen gelernt, daß es nicht notwendig ist, bei einer Reihe von parallel geschalteten Stromzweigen die Klemmenspannung zu wissen, wenn es sich um die Berechnung des resultierenden Widerstandes handelt. Man legt einfach die Spannung von 1 Volt zugrunde, rechnet für diese die Stärke der Zweigströme, erhält dadurch den Gesamtstrom und wenn wir Eins durch diesen Strom dividieren, so erhalten wir den richtigen resultierenden Widerstand, der für jede beliebige Spannung in diesem Netze immer derselbe ist.

Die Verzweigung kann in sehr viele Äste vorgenommen werden; die Summe der Teilströme muß immer den Hauptstrom ergeben (vor der Verzweigung), wobei die Klemmenspannung für jeden Zweig immer dieselbe bleibt. Man nennt, wie schon gesagt, eine solche Verzweigung eine Parallelschaltung. Sind hingegen die Apparate so geschaltet, wie Fig. 61 vorführt, so nennt man eine solche Schaltung eine Hintereinanderschaltung. Es geht dann durch jeden einzelnen Apparat die ganze von der Stromquelle kommende Intensität I, dagegen ist die Klemmenspannung bei jedem Apparat eine andere. In der Fig. 61 haben wir vier Apparate gleicher Größe hintereinander. Die Ma-

schine liefert einen Strom von 20 Ampère bei 450 Volt Klemmenspannung. Jeder Apparat hat einen Widerstand von 5·625 Ohm. Da durch jeden Apparat infolge der Hintereinanderschaltung 20 Ampère fließen, so ist die Klemmenspannung bei demselben $5{\cdot}625 \times 20 = 112{\cdot}5$ Volt. Es stehen dem Stromdurchgange 4 Widerstände hintereinander im Wege, welche alle überwunden werden müssen; es muß also im ganzen ein Widerstand von $4 \times 5{\cdot}625 = 22{\cdot}5$ Ohm überwunden werden. Um durch diesen Widerstand die Strommenge von 20 Ampère durchzubringen, ist nach dem Ohmschen Gesetze eine Spannung von

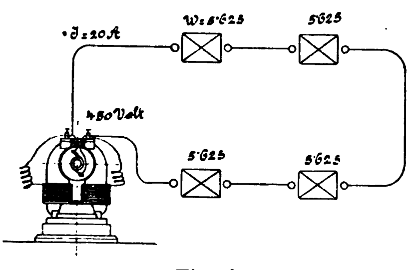


Fig. 61.

$$20 \times 22{\cdot}5 = 450 \text{ Volt}$$

notwendig.

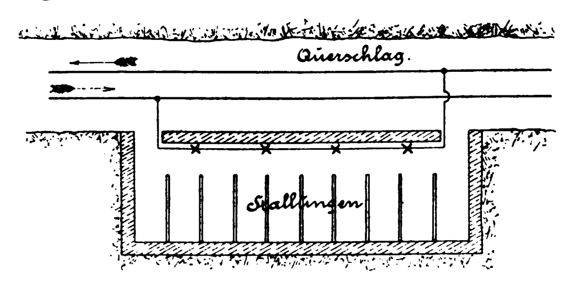


Fig. 62.

7. Beispiel: Ein Strom von 450 Volt Spannung geht in der Grube zu einem Förderhaspel und einer Fallortspumpe an einem Grubenstall vorbei. Man will diesen Strom benutzen, um den Stall elektrisch zu beleuchten, und hat hierbei 110 voltige Glühlampen zur Verfügung. Wie sind dieselben zu schalten?

450 : 110 = rund 4, d. h. wir werden 4 Glühlampen von 110 Volt hintereinander schalten, so wie Fig. 62 vorführt. Hätten wir beispielsweise Lampen von 65 Volt zur Verfügung, so müßten wir 450 : 65 = rund 7 Stück hintereinander schalten. Wie also schon bemerkt, geht es nicht an, eine beliebige Glühlampe an eine beliebige Spannung anzuschließen, denn wenn wir beispielsweise an ein Leitungsnetz von 110 Volt Spannung eine Glühlampe von 65 Volt anschließen, so bekommt sie viel mehr Strom, als den, für welchen sie abgeglichen ist. Es hat dies zur Folge, daß eine solche Lampe übermäßig hell blendend weiß leuchtet, aber ihre Lebensdauer sehr kurz, manchmal kaum eine Stunde ist. Es hat die Lampe infolge übermäßiger Nahrung zwar „glänzend" gelebt, aber dafür zu rasch, also zu kurze Zeit, ganz so wie das bewährte Sprichwort der Bergleute sagt: Langsam trinken, nicht viel saufen, wer lang gehen will, darf nicht laufen!

Umgekehrt, würde man an ein Netz von 65 Volt eine 110voltige Lampe anschließen, so würde sie wegen der geringen Spannung weniger Strom bekommen als den, für welchen sie schon von Haus aus in ihrem Widerstand abgeglichen ist, und die Lampe würde deshalb sehr schwach leuchten, denn der Faden wird nur dunkelrot und nicht glühend.

Mittel zum Erkennen des Vorhandenseins eines elektrischen Stromes.

Da die Elektrizität, wie wir bereits wissen, unseren Sinnen nicht direkt wahrnehmbar ist, so müssen wir Mittel und Wege finden, welche auf die Einwirkung des elektrischen Stromes in der Weise reagieren, daß wir imstande sind, diese Reagenz wahrzunehmen. Wir brauchen also Vermittler, welche uns das Vorhandensein des elektrischen Stromes anzeigen, denn man kann einen Elektrizi-

tätsträger noch solange beobachten oder an demselben horchen, nie wird man konstatieren können, ob ein elektrischer Strom in demselben vorhanden ist oder nicht. Wenn wir den Blitz sehen oder den Donner hören, so können wir mit Bestimmtheit sagen, die und die Wolken waren geladen; vorher konnten wir es nicht behaupten.

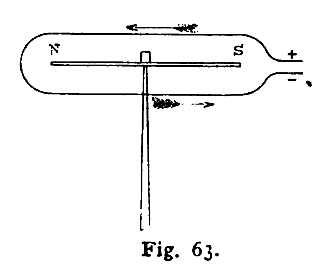


Fig. 63.

Das einfachste Mittel in unserer Praxis ist wieder die Einwirkung des elektrischen Stromes auf eine frei bewegliche Magnetnadel. Eine Magnetnadel wird abgelenkt, wenn über sie ein stromdurchflossener Leiter gespannt wird; die Ablenkung ist um so größer, beziehungsweise die Ablenkung tritt bei schwachen Strömen um so sicherer auf, je mehr Windungen um die Magnetnadel gewickelt sind, wie wir bereits bei den Solenoiden kennen gelernt haben. Danach wird man sich das hierzu nötige Instrument wählen. Soll man das Vorhandensein eines starken Stromes ermitteln, so genügt eine Einrichtung, wie sie in Fig. 63 schematisch, in Fig. 64 und 65 in praktischer Darstellung vorgeführt erscheint.

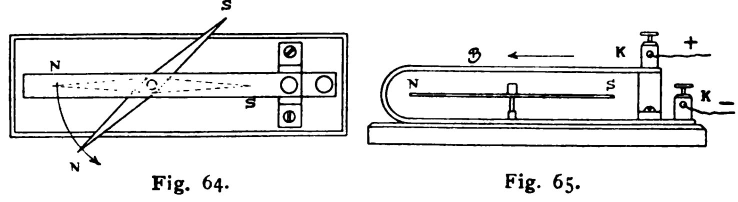


Fig. 64. Fig. 65.

Ein Kupferstreifen ist nämlich so zu einem Bügel *B* umgebogen, daß innerhalb desselben eine Magnetnadel *NS* frei schwingen kann; die Enden des Bügels sind mit Klemmen *K* versehen, an welche man Leitungsdrähte anschließen kann.

Diese soeben beschriebene Einrichtung ist als eine primitive zu bezeichnen und nur bei stärkeren Strömen verwendbar.

Eine jede solche Einrichtung, mit deren Hilfe man das Vorhandensein eines elektrischen Stromes in einer Leitung zu erkennen vermag, heißt ein **Galvanoskop**. Wir verwenden sie hauptsächlich dazu, um zu untersuchen, ob eine Leitung nicht irgendwo unterbrochen ist, so daß sie dann nicht imstande wäre, den eigentlichen Nutzstrom weiter zu leiten, oder umgekehrt, um nachzusehen, ob in irgend einem Leitungsnetz nicht ein unerwünschter Kurzschluß vorhanden ist, und um danach den Kurzschluß oder die Unterbrechungsstelle ausfindig zu machen.

Es muß also eine Stromquelle vorhanden sein, welche man mit dem Galvanoskop und der zu unter-

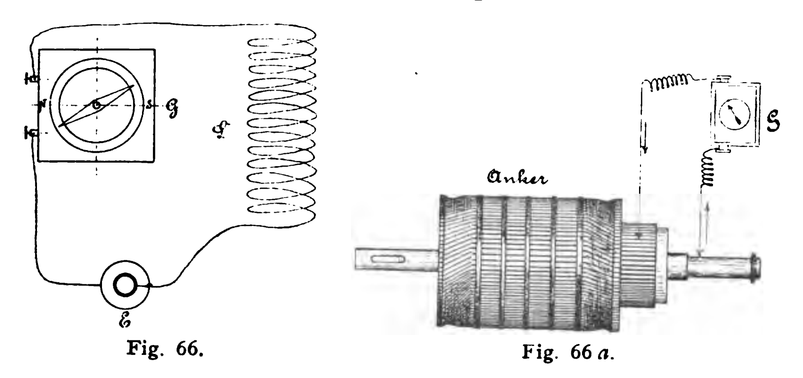


Fig. 66. Fig. 66 *a*.

suchenden Leitung hintereinander schaltet, wie Fig. 66 schematisch angibt. *L* ist die zu untersuchende Leitung, *G* ein Galvanoskop und *E* die hierzu notwendige Elektrizitätsquelle.

Ist in der Leitung *L*, mag es nun die geschlossene Wicklung eines Ankers, einer Feldmagnetspule, oder eine andere Freileitung oder Leitung überhaupt sein, irgend eine Unterbrechung, so wird bei der Schließung des Stromkreises das Galvanoskop keinen Ausschlag geben.

Umgekehrt kann man das Galvanoskop dazu benutzen, um zu erfahren, ob eine Leitung, eine Spule, eine Ankerwicklung usw. nicht mit demjenigen Gestell

Gerippe oder Gehäuse in leitender Verbindung steht, in welchem die Wicklungen gebettet sind, oder von dem sie getragen werden. So beispielsweise gibt Fig. 66 *a* das Schaltungsschema, wenn man untersuchen will, ob die Lamellen des Kollektors gegen die Ankerwelle gut isoliert sind. Es wird zu diesem Zwecke das eine Drahtende des Galvanoskops der Reihe nach an die einzelnen Lamellen, das andere an die Welle angelegt. Gibt das Galvanoskop keinen Ausschlag, so ist die Isolation der Lamellen in Ordnung; ergibt sich hingegen ein Ausschlag, so ist dies ein Zeichen, daß die betreffende Lamelle mit der Welle in unerwünschter leitender Verbindung steht, daß also ein sogenannter Kurzschluß vorhanden ist.

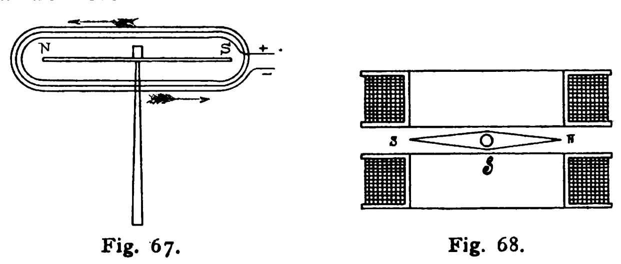
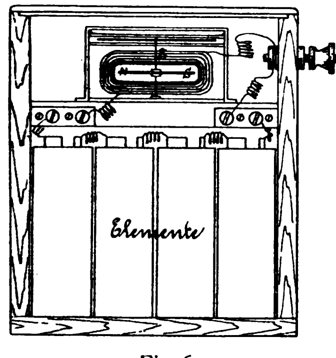


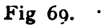
Fig. 67. Fig. 68.

Will man die Isolation einer Magnetspule gegen den Magnetschenkel untersuchen, so wird das eine Drahtende des Galvanoskops an das eine blanke Drahtende der Spule, das andere an den blanken Schenkel angelegt usf.

Um ein empfindliches Instrument zu bekommen, nimmt man an Stelle des Kupferbügels isolierten, dünnen Draht, welchen man nach Bedarf bloß einige Male (Fig. 67) oder in vielen Windungen nach Art eines Solenoides um die Magnetnadel windet. Viele Windungen aus dünnem isolierten Kupferdraht lassen sich jedoch ohne steife Unterlage nicht herstellen; sie müssen auf eine Spule aus Papier, Hartgummi, Holz u. dgl. aufgewunden werden, was natürlich eine gewisse Breite der Spule erfordert. Würde man die Magnetnadel in der Spule so anbringen, wie es beim Galvanometer in der Fig. 64 geschehen ist,

so würde man kleine Ausschläge gar nicht beobachten können. Praktisch wird nun die Sache so hergestellt, daß man statt einer Spule deren zwei macht, die nebeneinander so angebracht werden, daß ein kleiner Spalt zwischen beiden entsteht (Fig. 68). Durch diesen Zwischenraum geht eine vertikale Spindel „*S*" die in dem Hohlraume der Spulen die Magnetnadel und oben über den Spulen einen der Magnetnadel ähnlichen Zeiger aus Aluminium trägt. Diese viel empfindlichere Einrichtung wird mit einer Batterie von 6 bis 8 galvanischen Trockenelementen in einem handlichen Kasten untergebracht und heißt dann ein Montagegalvanoskop.




Fig 69.

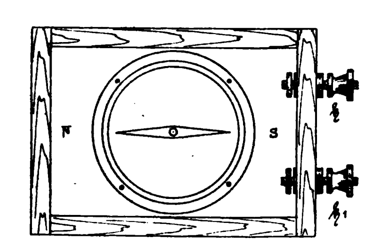


Fig. 70.

Ein solches ist in der Fig. 69 und 70 veranschaulicht und man kann hier deutlich im Querschnitt die Spindel *S*, die Magnetnadel *NS* und den unter Glas befindlichen, über einer Skala spielenden Zeiger wahrnehmen. An die Klemmen *K* und K_1 werden die Zuleitungsdrähte angeschlossen. Die Hintereinanderschaltung des Galvanoskops und der Batterie ist schon im Kasten bis zu den Klemmen durchgeführt.

Wenn manchmal auch ein solches Montagegalvanoskop nicht vorhanden ist, so können wir uns selbst ein solches anfertigen; dasselbe ist in der Fig. 71 seiner äußeren Ansicht nach abgebildet. Es besteht aus einem abgelegten Grubentaschen-Kompaß mit hölzernem Ge-

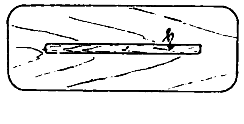
häuse, von dem der Deckel abgenommen wird. Nun fertigt man sich einen hölzernen Kern *h* an (Fig. 72), an den zwei Seitenflanschen *s* angelegt werden, so daß



Fig. 71.

eine Spule ohne Hohlraum gebildet wird. Auf diesen Holzkern wird ein ca. 0·2 *mm* starker isolierter Kupferdraht möglichst ordentlich Lage über Lage gewickelt.

Dann wird eine zweite Spule ebenso hergestellt und beide werden parallel nebeneinander unter dem Boden des Kompasses so angeleimt, daß die Windungen der beiden Spulen mit der *NS*-Linie desselben parallel verlaufen. Bringt man die so angefertigte Einrichtung in einem Holzkästchen unter, das die Klemmen trägt, so erhält man das schon erwähnte und in Fig. 71, 73 und 74 abgebildete Taschengalvanoskop, wie es tatsächlich aus einem alten Grubenkompaß am Werk hergestellt wurde. Auf Grund des bisher Gelernten wird es nicht schwer fallen, den Wicklungssinn der beiden Spulen zu



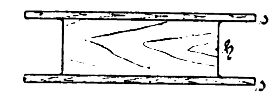


Fig. 72

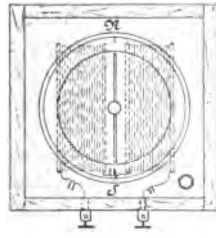


Fig. 73.

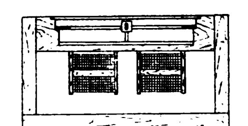


Fig. 74.

bestimmen, damit beide im selben Sinne auf die Magnetnadel wirken!

Die hier vorgeführten Instrumente werden als **erdmagnetische Instrumente** bezeichnet und es ist daher bei ihrer Aufstellung behufs Messung zu beachten, daß die Magnetnadel genau auf die *NS*-Linie des Instrumentes eingestellt wird, was dadurch geschieht, daß man unterhalb derselben das Gehäuse solange dreht, bis die gewünschte Stellung erreicht ist.

Durch die bisher angeführten Instrumente wird uns also das Vorhandensein des elektrischen Stromes auf

optischem Wege zum Bewußtsein gebracht, d. h. wir sehen die Wirkung des elektrischen Stromes.

Häufig werden auch akustische Mittel für vorübergehende Zwecke benutzt, d. h. das Vorhandensein des elektrischen Stromes wird uns durch den Schall angezeigt, zu welchem Zwecke sich am besten die uns schon bekannte Hausklingel eignet, welche dann, wenn sie in Verbindung mit irgendeiner beliebigen Elektrizitätsquelle in einem passenden Kasten, ähnlich wie das Montagegalvanoskop, als ein selbstständiges Hilfsinstrument zur Verwendung gelangt, Klingelwerk genannt wird.

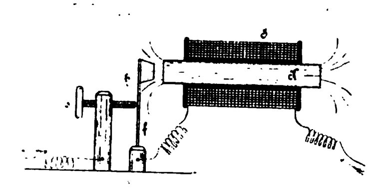


Fig. 75.

Es ist hier am Platze, uns mit der Einrichtung der Klingel im allgemeinen näher bekannt zu machen.

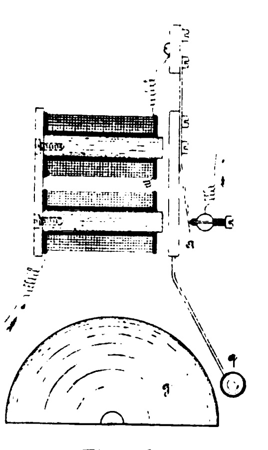


Fig. 76.

In der Fig. 75 ist eine Spule *S* gezeichnet, in deren Hohlraum sich ein sehr weicher Eisenkern *K* befindet. Gegenüber dem einen Ende dieses Eisenkernes steht auf einer Stahlfeder *f* ein Hammer *h*; die Feder stützt sich gegen eine Stellschraube *s*. Wird nun in der bezeichneten Weise Strom in die Spule hineingeleitet, so geht er von dieser weiter in die Feder *f* und durch die Stellschraube *s* und deren Metallständer wieder zur Stromquelle zurück. In dem Augenblicke aber, wo der Strom die Spule durchfließt, wird ja, wie bekannt, Spule und Eisenkern magnetisch und der Hammer *h* wird angezogen. Kaum daß dies aber geschieht, wird der Strom, weil sich die Feder von der Stellschraube entfernt, unter-

brochen, und der Eisenkern hört auf, magnetisch zu sein; dies hat zur Folge, daß der Hammer nicht mehr angezogen wird und infolge der Spannkraft der Feder wieder in seine frühere Stellung zurückschnellt, wodurch der Stromkreis wieder geschlossen wird, worauf das Spiel von neuem beginnt. Die Unterbrechungen geschehen sehr rasch. Diese Einrichtung zur Selbstunterbrechung des Stromes hat der Frankfurter Arzt Neef zum ersten Male hergestellt und sie wird deshalb nach ihm Neefscher Hammer genannt.

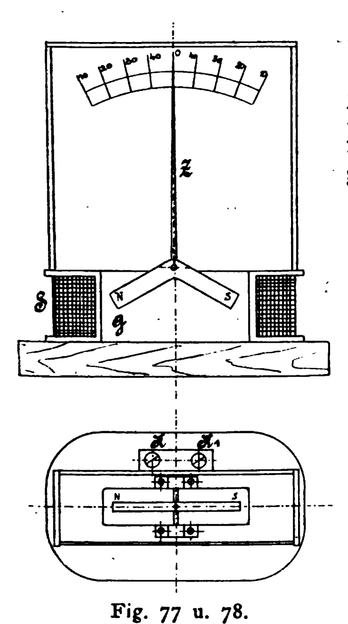


Fig. 77 u. 78.

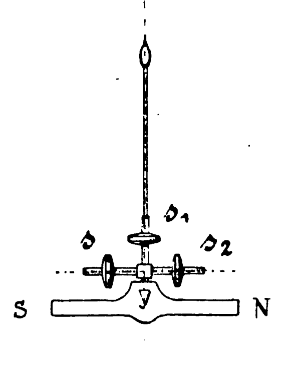


Fig. 79.

Denkt man sich an Stelle einer Spule zwei solche zu einem Hufeisenmagneten verbunden, wie es in der Fig. 76 angegeben ist, und wird auf den verlängerten Anker *a* ein Schlagstück *q* in Form einer Kugel angebracht, so wird diese beim Anziehen des Ankers auf eine vorgelegte Glocke *g* schlagen. Damit haben wir das Prinzip der Klingel gegeben, wie sie bereits in Fig. 5 abgebildet wurde.

Sehr häufig steht auch ein sogenanntes Vertikal-Galvanoskop in Verwendung, welches in Fig. 77 und 78

abgebildet erscheint. Es besteht aus einem geraden oder stumpfwinkelig gebogenen Magnetstab *n s*, welcher um eine horizontale Achse leicht in einer vertikalen Ebene drehbar ist. Die Achse ruht auf dem oberen Rande einer Messingbüchse, um welche die Drahtwindungen S parallel zum Magnetstab verlaufen, wodurch eine Spule gebildet wird. Die Drahtenden derselben gehen in die Klemmschrauben K und K_1. An dem Magnet ist ein vertikaler Zeiger Z aus Aluminium angebracht, der um eine Teilung spielt. Die Wirkungsweise dieses Instrumentes kann man sich leicht erklären; es ist nur notwendig, sich in die Figur den Kraftlinienverlauf sowohl der Spule als auch des Magnetstabes zu zeichnen und zu beobachten, welche Kraftliniengruppen sich in ihrer Wirkung aufzuheben und welche sich zu unterstützen trachten.

Dieses hier angeführte Vertikalgalvanoskop ist weniger empfindlich, weil es nur in Zapfen gelagert ist und infolge der Biegung des Magnetstabes nach abwärts der Schwerpunkt des drehbaren Systems ziemlich tief liegt. Ein etwas anders konstruiertes derartiges Galvanoskop ist teilweise in Fig. 79 abgebildet, wo ein gerader Magnetstab in Schneiden gelagert erscheint, und wo man außerdem den Schwerpunkt des ganzen beweglichen Systems mittels der Schräubchen s, s_1, s_2 beliebig höher oder tiefer und dadurch die Beweglichkeit größer oder kleiner machen kann.

Es gibt noch viele andere sehr schöne und empfindliche Galvanoskope, die aber für uns Praktiker weniger Interesse haben und von deren Beschreibung wir also absehen wollen.

Wir haben schon wiederholt gesehen, daß ein Galvanoskop einen um so größeren Ausschlag gibt, je stärker der Strom oder je größer seine Spannung ist. Wird ein Galvanoskop unterhalb des Zeigers mit einer Skala versehen, so daß man für die jedesmalige Stärke des Ausschlages einen Anhaltspunkt hat, so heißt ein solches Galvanoskop ein Galvanometer. In einem späteren Kapitel, wo wir uns mit praktischen Widerstandsmessungen beschäftigen werden, wird es notwendig sein, ein oder das andere Galvanometer zu verwenden



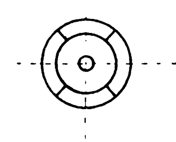


Fig. 80.

und daher wollen wir uns mit einigen Typen derselben bekannt machen. Auch da, wie überhaupt in jeder Abteilung der Elektrotechnik, gibt es eine ganze Reihe von Instrumenten, von denen jedes einzelne gewisse Vorteile vor dem anderen zeigt. Wir wollen uns hauptsächlich mit zwei Typen solcher Galvanometer beschäftigen.

Der eine Typus derselben beruht auf dem erdmagnetischen Prinzip, wo also wieder eine freischwingende Magnetnadel von einem sie umfließenden elektrischen Strome abgelenkt wird, der andere auf dem Drehspulprinzip nach Deprez-d'Arsonval; in einem starken, permanent magnetischen Felde befindet sich eine drehbare Spule, die vom Strome durchflossen zu einer Drehung in dem magnetischen Felde gezwungen wird, und zwar um einen in diesem Felde fixierten zentrisch angebrachten Weicheisenkern.

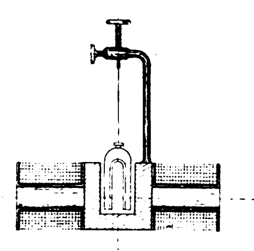


Fig. 81.

Als Beispiel eines erdmagnetischen Galvanometers wollen wir das Dosengalvanometer von Hartmann und Braun mit Glockenmagnet vorführen. Wir haben bisher nur die auf Seite 21 angeführten Magnetformen kennen gelernt; doch ist es auch möglich, dem Magnet eine solche Form zu geben, wie sie in Fig. 80 aufgezeichnet ist, also eine Glockenform, daher auch die Bezeichnung Glockenmagnet. Wird derselbe auf

einen torsionsfreien Kokonfaden aufgehängt, stellt er sich so wie jeder andere Magnetstab immer in die *NS*-Richtung ein. Bei dem in Verwendung stehenden Galvanomter hängt

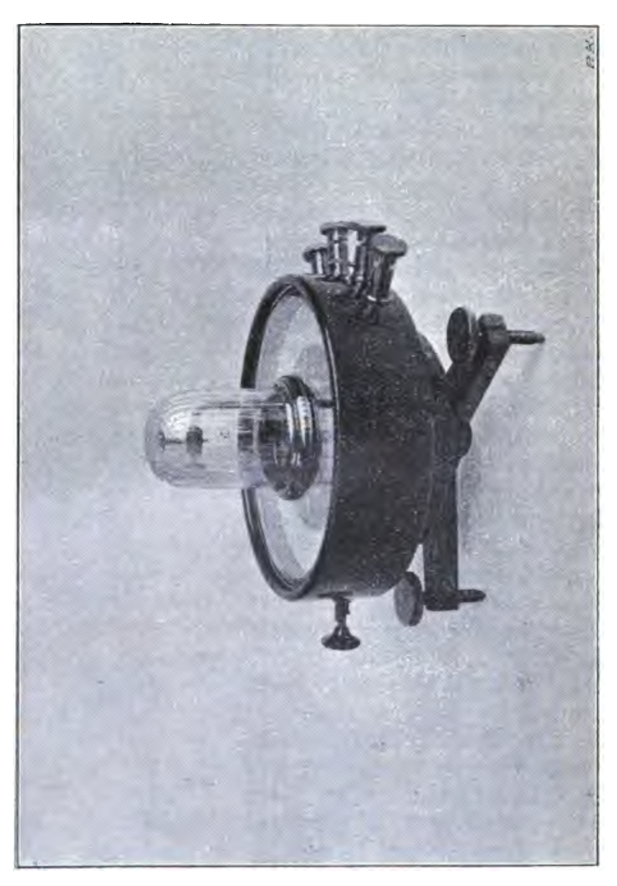


Fig. 82.

ebenalls der Glockenmagnet auf einem Kokonfaden in dem Hohlraum eines Kupferzylinders, welcher Dämpfegenannt wird, weil der Glockenmagnet nach seiner Ab-

lenkung in demselben viel rascher zur Ruhe kommt, als wie wir es bei einer gewöhnlichen freischwingenden Magnetnadel beobachten konnten; den Grund dafür werden wir später kennen lernen.

Der Kupferzylinder hat längliche Seitenansätze, an welchen Spulen aus isoliertem, dünnem Kupferdraht angebracht sind; der Kokonfaden ist auf einem Säulchen angebunden, worauf mittels einer Schraube Faden samt Glockenmagnet der Höhe nach verstellt werden können. Die Fig. 81 führt uns die ganze Einrichtung im Prinzipe vor; aus der Fig. 82 ist die Ansicht in der praktischen Ausführung ersichtlich. Zum Schutze gegen Staub und Luftzug ist das Ganze in einer Dose und unter einer Glaskuppel verschlossen und wird daher dieses Galvanometer Dosengalvanometer genannt.

Über den Spulen ist eine Kreisteilung angebracht, über der ein oben auf dem Glockenmagnet befestigter Doppelzeiger spielt und so ermöglicht, die Größe des Ausschlages abzulesen. Das Galvanometer hat drei kräftige Fußschrauben, mittels welcher der Kokonfaden in eine genau vertikale Lage gebracht werden kann. Die Kreisteilung ist in Graden ausgeführt; ein Grad Ausschlag = 0·00005 bis 0·000005 Ampère, je nach der Empfindlichkeit des Instrumentes.

Alle erdmagnetischen Instrumente haben aber die unangenehme Eigenschaft, in der Nähe von Eisenmassen stärkeren, stromdurchflossenen Leitungen und in der Nähe von Elektromagneten in ihrer natürlichen Ruhelage gestört zu werden; und wo gibt es jetzt eine größere Anlage, wo diese störenden Einflüsse nicht zu befürchten wären?

Es werden daher mit Vorteil und Vorliebe solche Instrumente verwendet, welche diese Eigenschaft nicht besitzen, die also von äußeren magnetischen Einflüssen beinahe völlig unabhängig sind und die noch die gute Eigenschaft gegenüber den erdmagnetischen Instrumenten haben, daß sie nicht erst in die *NS*-Linie eingerichtet werden müssen. Sie beruhen auf dem Drehspulprinzip.

Mit besonderer Sorgfalt, nach einem besonderen von Prof. Kroupa erfundenen Verfahren hergestellte

kräftige permanente Magnete, deren Pole mit Polschuhen versehen sind, haben in der zylindrischen Bohrung der letzteren einen genau zentrierten Weicheisenkern, um welchen eine Spule, an einem weichen Metallbande hängend, drehbar ist. Die Wickelung derselben ist durch dünne Blattsilberfedern, welche der Drehung entgegenwirken, mit den Außenklemmen in Verbindung.

Wenn nun die Spule von einem Strome durchflossen wird, bekommt sie bekanntermaßen ihr eigenes magnetisches Feld, welches sich in dem festen, gleichmäßigen Feld der Magnete befindet, und die Spule führt infolge der gegenseitigen Einwirkung dieser beiden Felder aufeinander eine Drehbewegung aus.

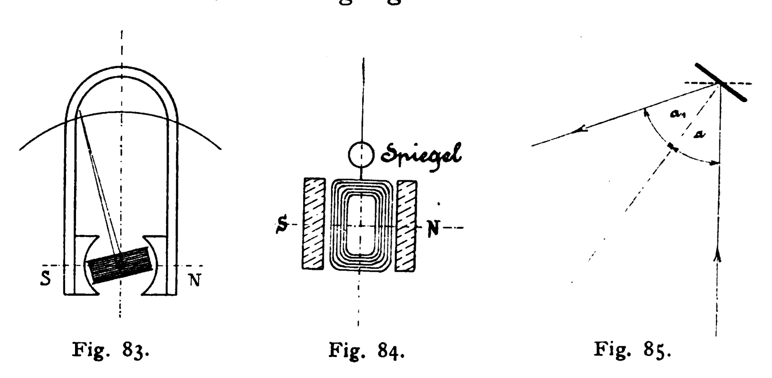


Fig. 83. Fig. 84. Fig. 85.

Es geschieht hier also das Verkehrte wie bei den erdmagnetischen Instrumenten; dort hat sich ein Magnet unter dem Einflusse des Stromes gedreht, hier bei den Drehspulgalvanometern dreht sich ein stromdurchflossener Leiter (Spule) unter der Einwirkung eines magnetischen Feldes.

In der Fig. 83 sieht man diese Anordnung schematisch in der Daraufsicht dargestellt; ist mit der Drehspule ein Zeiger in fester Verbindung, so wird er die Drehungen mitmachen.

Wird an Stelle des Zeigers zwischen Aufhängeband und Drehspule ein kleiner Spiegel vertikal angebracht, so dreht er sich ebenfalls mit (Fig. 84). Wird ein

scharfer Lichtstrahl auf den Spiegel geworfen, wird er zurückgeworfen (reflektiert), und zwar wie bekannt derart, daß der Einfallswinkel α, welchen der einfallende Lichtstrahl mit der Senkrechten auf den Spiegel bildet, genau so groß ist, wie derjenige Winkel α_1, welchen der reflektierte Lichtstrahl mit derselben Senkrechten bildet, mit anderen Worten, der Ausschlagswinkel des reflektierten Lichtstrahles, d. i. also $\alpha + \alpha_1$ ist doppelt so

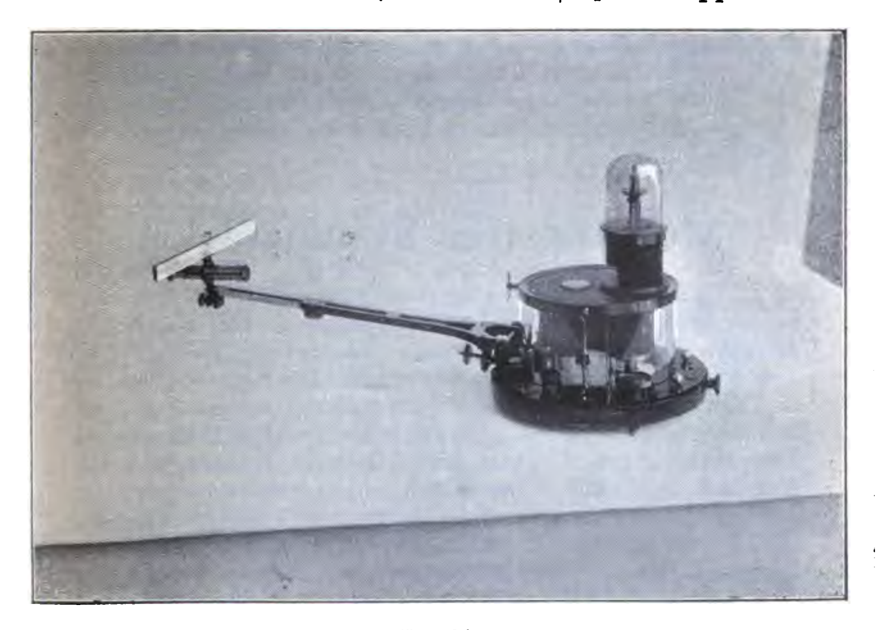


Fig. 86.

groß, wie der Ausschlagswinkel des Spiegels (Fig. 85). Wird der reflektierte Strahl auf eine gegenüberliegende Wand geworfen, so kann man auf einer dort befindlichen Skala jedesmal bequem die Ablenkungen ablesen.

Ein so eingerichtetes Galvanometer heißt ein Spiegelgalvanometer und wir finden in der Fig. 86 ein solches abgebildet. Die Skala (Millimetereinteilung) befindet sich dem Spiegel gegenüber auf einem Arm, und unterhalb

derselben ist ein kleines Fernrohr angebracht, so daß man die Bewegung der Skala im Spiegel selbst scharf beobachten kann; der Arm ist auf 0·5 *m* Entfernung ausziehbar, wobei die Empfindlichkeit des Instrumentes, welches gewöhnlich 700 Ω Widerstand hat, bei 1 *mm* Ausschlag ca. 0 000000003 Ampère beträgt. Das Galvanometer steht ebenfalls auf drei Fußschrauben und mittels dieser, sowie mittels einer am Instrument angebrachten Dosenlibelle kann dasselbe genau horizontal, beziehungsweise das Aufhängeband der Drehspule genau mit derselben vertikal gestellt werden, womit erzielt wird, daß die Spule weder am Eisenkern noch an den Magneten anliegt und sich somit frei im Zwischenraume beider drehen kann.

Messung der Stromstärke.

Eine scharfe Messung der Stromstärke ist, wie wir schon kennen gelernt haben, diejenige mittels des Voltameters. In der Praxis jedoch wird diese Methode nie angewendet, sondern man verwendet Instrumente, welche für einen gewissen Meßbereich geaicht wurden und die imstande sind, jeden Augenblick die jeweilig herrschende Stromstärke mit für uns hinreichender Genauigkeit anzugeben. Sie sind daher ständig eingeschaltet in der Art, daß der ganze zu messende Strom durch den Meßapparat hindurchgeht. Diese Instrumente zur Messung der Stromintensität heißen **Ampèremeter.**

Es gibt nun wieder eine ganze Reihe derartiger Instrumente; wir wollen nur einige Typen herausgreifen.

Vor allen anderen wäre das sehr stark in elektrischen Anlagen verbreitete Ampèremeter System Hummel zu nennen, dessen Prinzip auf folgendem beruht: Wird in ein Solenoid *s*, Fig 87, exzentrisch ein auf einem Faden hängendes, leichtes Eisenstückchen *E* oder ein Hohlzylinder aus dünnem Blech gehängt, so wird dasselbe gegen den Umfang des Solenoides hingezogen, sobald durch die Windungen desselben ein Strom fließt. Wird nun dieses leichte Eisenstück, welches gewöhnlich aus

einer dünnen Blechfahne besteht, in dem Solenoid auf einer Achse befestigt, wie es aus Fig. 88 ersichtlich ist, und auf der anderen Seite ein Zeiger *Z* angebracht, so ist leicht einzusehen, daß sich der Zeiger, wenn das Blechstück *E* bei stromdurchflossenem Solenoid gegen den Umfang desselben gezogen wird, in verkehrter Richtung bewegt, und zwar um so mehr, je stärker der das Solenoid durchfließende Strom ist. Durch Aichung wird nun auf dem Kreisbogen *t* eine Skala hergestellt und das Ganze mit einer Kapsel, die einen Glasdeckel hat, verschlossen.

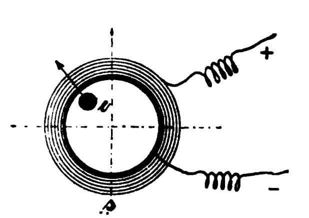
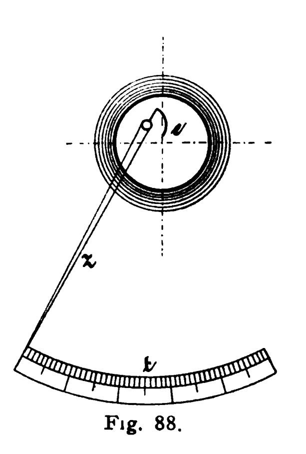


Fig. 87.

Da der ganze Strom durch die Windungen dieses Meßapparates fließen muß, so müssen dieselben, dem Strome entsprechend, stark genug im Querschnitt gewählt werden. Bei starken Strömen findet sich gewöhnlich nur eine oder zwei Windungen, welche auf die Weise hergestellt sind, daß ein blanker Kupferstab nach Art eines Schraubengewindes zu einer Schleife umgebogen wird, so daß sich die nebeneinander laufenden Flächen nirgends berühren. In dem zylindrischen Hohlraum dieses Gewindes ist wieder das Eisenblech (die Fahne) mit seiner Achse angebracht.


Fig. 88.

Die Fig. 89 führt uns ein solches Instrument bei abgenommener Kapsel in der Ansicht vor. Man sieht deutlich den gewundenen Flachstab, der hinter dem Grundbrett in Rundstäbe ausläuft, an denen die Anschlußklemmen angebracht sind. Dieses Instrument gehört in die Gruppe der sogenannten **Weicheiseninstrumente**.

Eine andere Gruppe von Instrumenten sind die sogenannten Hitzdrahtinstrumente, die in einer



Fig. 89.

schönen, eleganten Ausführung von der Firma Hartmann und Braun geliefert werden. Die Hitzdrahtinstrumente beruhen darauf, durch einen dünnen Draht einen elek-

trischen Strom hindurchgehen zu lassen, daß sich derselbe erwärmt, was eine Ausdehnung desselben zur Folge hat. Und zwar wird die Erwärmung und somit auch die Ausdehnung um so größer sein, je größer die Stromintensität ist.

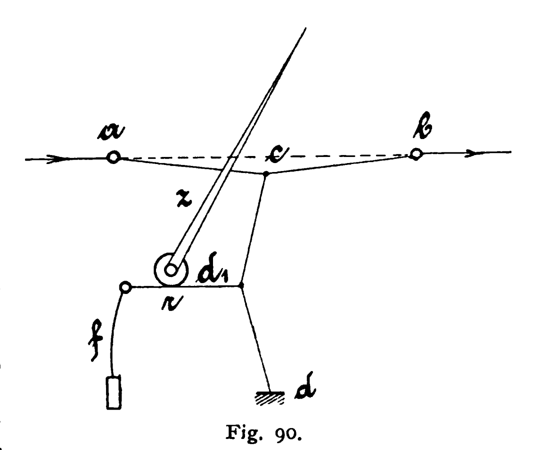


Fig. 90.

Wird ein feiner Draht aus Platinsilber von ca. 0·06 *mm* Durchmesser zwischen den zwei festen Punkten *a b* gespannt (Fig. 90 gestrichelt) und durch denselben ein elektrischer Strom geschickt, so dehnt er sich infolge der Erwärmung aus und senkt sich nach abwärts. In der Mitte dieses Drahtes ungefähr greift ein zweiter Draht *c d* aus Messing von ca. 0·05 *mm* Stärke ein, und ebenso greift wieder in der Mitte dieses letzteren Drahtes ein feiner Kokonfaden d_1 ein, der über eine Rolle *r* einmal geschlungen ist und von einer Feder *f* gespannt wird. Die Bewegung dieser zusammen-

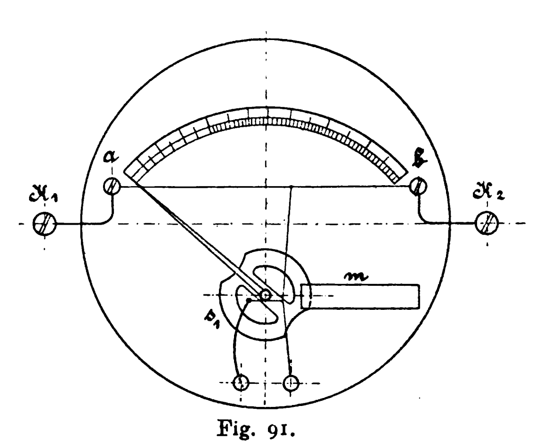


Fig. 91.

hängenden Kombination ist nun klar. Senkt sich der Draht *a b*, so wird auch der Draht *c d* schlaff und infolge der Spannkraft der Feder vermittels des Kokonfadens nach links gebogen, wobei natürlich der Faden selbst auch eine Bewegung nach links ausführt und die Rolle, um welche er ja geschlungen ist, zu einer Drehung veranlaßt. Wird auf dieser Rolle ein Zeiger *z* angebracht, so zeigt er die Bewegung auf einer untergelegten Skala an.

Diese Kombination wird nun zur Herstellung von Ampèremetern benutzt und das Prinzip ist in der Fig. 91 gezeichnet. Die Stromzuleitung zu dem Hitz-

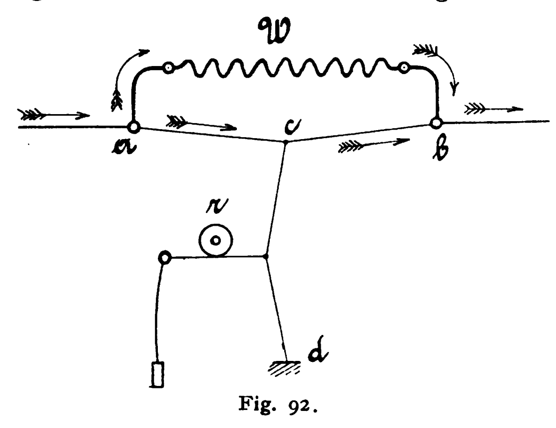


Fig. 92.

draht *a b* erfolgt durch die Klemmen $K_1 K_2$. Auf der Zeigerachse ist eine Aluminiumscheibe s_1 angebracht, die sich bei der Bewegung des Zeigers zwischen den Polen eines starken Hufeisenmagneten *m* bewegt. Diese Einrichtung hat den Zweck, die Schwingungen des ausgelenkten Zeigers hintanzuhalten; wie so, werden wir später kennen lernen.

Alle Meßinstrumente, bei denen die Zeigerbewegung durch irgendeine Einrichtung gedämpft wird, so daß der Zeiger nach dem Ausschlage beinahe augenblicklich zur Ruhe kommt, heißen a p e r i o d i s c h e Instrumente. So gehört beispielsweise das in Fig. 82 abgebildete

Dosengalvanometer auch zu den aperiodischen Instrumenten.

Je stärker der Strom, desto mehr wird sich der Draht erwärmen und um so mehr wird er sich biegen. Bei Strommessern, wie wir schon gesagt haben, muß der ganze Betriebsstrom durch das Instrument gehen, d. h. dasselbe ist mit der Verbrauchsstelle und Stromquelle hintereinander zu schalten. Die Hitzdrahtinstrumente haben aber ausschließlich nur einen sehr dünnen Hitzdraht, wie wir gesehen haben, und können daher nur geringe Strommengen vertragen. Man schaltet daher bei diesen Ampèremetern zu dem Hitzdraht parallel einen sehr geringen Widerstand *W* (Fig. 92). Der Draht bekommt dann nach den Regeln über Stromverzweigung einen nur geringen, seinem Querschnitte angemessenen Bruchteil des ganzen Stromes.



Fig. 93.

Solche parallel geschaltete Widerstände, welche den Zweck haben, ein Instrument vor einer übermäßigen Stromstärke zu schützen, also dasselbe größtenteils zu entlasten, wobei sie aber mit demselben ein zusammenhängendes Aggregat bilden, heißen Nebenschlüsse, oder mit dem fremden Namen Shunts. Sie bestehen aus einem dünnen, breiten, gewellten Bleche und werden entweder abgesondert in Kästen eingebaut

oder sind mit einem Instrumente ständig zusammen montiert.

Fig. 93 führt uns ein Hitzdrahtampèremeter vor,



Fig. 94.

welches mit dem zugehörigen Shunt gemeinschaftlich auf einem Grundbrett aufmontiert ist. Dieses Instrument ist stationär.

Ein anderes sehr handsames, transportables Hitzdrahtampèremeter von Hartmann und Braun führt uns die Fig. 94 vor; der Nebenschluß desselben befindet sich rückwärts in dem tragbaren Kasten, der seitwärts kräftige Klemmen für den Anschluß hat. Der Zeiger bewegt sich über einem Spiegel, um beim Ablesen die sogenannte Parallaxe zu beseitigen, d. h. es muß sich beim richtigen Ablesen jedesmal der Zeiger mit seinem Bilde decken. Zum Transport wird ein Deckel über der Teilung aufgeklappt, womit das Instrument geschlossen ist.

Es gibt noch eine ganze Reihe anderer verschiedenartig geformter Ampèremeter, die größtenteils auf dem elektromagnetischen Prinzipe beruhen, doch muß man sich eben im gegebenen Falle mit dem anvertrauten Instrumente durch eigene Beobachtung und eigenen Scharfsinn insoferne vertraut machen, daß man dessen Konstruktion und Wirkungsweise selbst herausfindet.

Hauptsächlich haben wir uns zu merken, daß ein jedes Ampèremeter, da es die Strommenge angeben soll, immer mit der Stromquelle und dem Verbrauchsapparat hintereinander zu schalten ist!

Alle technischen Ampèremeter sind nach einem Voltameter oder einem anderen Normalinstrument geaicht.

Messung der Spannung.

Wer in das Prinzip und die Wirkungsweise der Ampèremeter gut eingedrungen ist, dem wird es nicht schwer fallen, sich auch mit den Instrumenten für die Spannungsmessung vertraut zu machen.

Da die Spannungseinheit ein Volt genannt wird, so heißen die Spannungsmeter auch Voltmeter (wohl zu unterscheiden vom Voltameter!) Dasselbe soll den Druckunterschied zweier zueinander gehöriger Leitungen angeben und muß daher parallel geschaltet werden, wie es Fig. 95 schematisch angibt. Die Leitung *h* hat ein höheres Potential, einen höheren Druck wie die Leitung *z* und es wird daher ein Strom durch das dazwischen ge-

schaltete Voltmeter V fließen. Da es zur Angabe des Druckunterschiedes der Elektrizitäten bestimmt ist, so wird es auch dann zeigen, wenn kein Strom durch die Leitungen zur Verbrauchsstelle fließt, wenn also dieselben bloß u n t e r S p a n n u n g stehen. Ein Ampèremeter zeigt dagegen nur dann, wenn Verbrauchsapparate eingeschaltet sind. Es ist hier genau so wie beim Dampfkesselbetrieb; das Manometer desselben ist ganz identisch mit einem Voltmeter, Beide haben dieselbe Aufgabe, denselben Zweck, nämlich Druckunterschiede anzugeben. Wenn der Kessel gespannt ist, zeigt das Manometer den atmosphärischen Überdruck in demselben an, ob nun Dampf aus dem Kessel entnommen wird oder nicht. Würde man dagegen in die zu einer Dampfmaschine führende Leitung irgend ein Instrument so einbauen, daß durch dasselbe der ganze zur Machine strömende Dampf gehen müßte (wobei es auf die durchströmende Dampfmenge geaicht werden kann), so könnte es natürlich nur dann zeigen, wenn Dampf durchströmen würde, sobald also die Maschine geht. Hingegen zeigt das Manometer solange an, solange überhaupt ein Überdruck im Kessel besteht. Dieses in der Leitung eingebaute Instrument, wie solche bei Wasser- und Leuchtgasleitungen tatsächlich vorkommen, entspricht genau einem Ampèremeter, das auch die durchfließende Strommenge in der Zeiteinheit angibt.

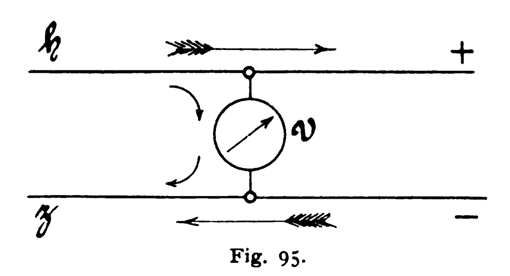


Fig. 95.

Durch das Voltmeter, wie wir aus Fig. 95 ersehen können, fließt ebenfalls ein Strom; da wir aber nicht die Strommenge, sondern nur die Spannung messen sollen, so wäre es überflüssig, ja unökonomisch, durch ein Voltmeter einen stärkeren Strom durchgehen zu lassen, denn das würde ja Verluste bedeuten, weil der durch ein Voltmeter durchgehende Strom nicht mehr

zur Verbrauchsstelle, sondern direkt zur Stromquelle zurückgeht. Den Voltmetern wird daher ein hoher Widerstand gegeben, damit dieselben nur von einem

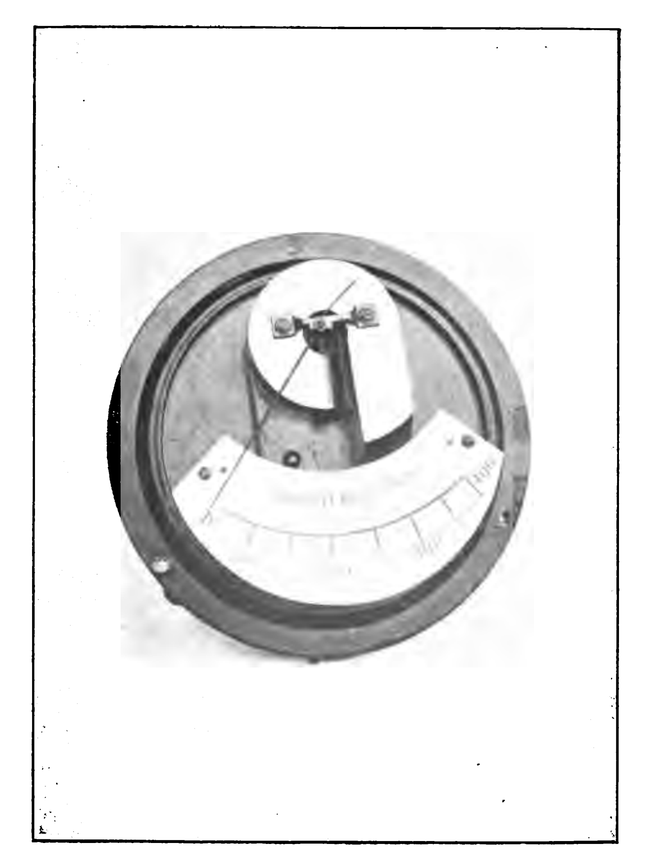


Fig. 96.

geringen Bruchteil eines Ampères durchflossen werden.

Auch bei den Voltmetern findet man das System Hummel sehr stark vertreten; nur besteht hier die Spule aus sehr vielen dünnen Windungen eines mit Seide um-

sponnenen Kupferdrahtes. Fig. 96 führt uns ein solches Voltmeter in der Ansicht vor, wobei die Blechkapsel mit dem Glasdeckel abgenommen ist.



Fig. 97.

Wie es Hitzdrahtampèremeter gibt, so bestehen auch Hitzdrahtvoltmeter, die sich von den ersteren nur dadurch unterscheiden, daß sie an Stelle des Nebenschlußwiderstandes einen entsprechend großen Wider-

stand aus dünnem Draht vorgeschaltet haben. Derselbe ist bei den transportablen Voltmetern, wie uns die Fig. 97 ein solches vorführt, rückwärts in dem Kasten untergebracht, und zwar nicht in Form einer Spule, sondern der Draht ist über einem eigens präparierten Holzrahmen gespannt, wie in der Fig. 98 angedeutet erscheint.

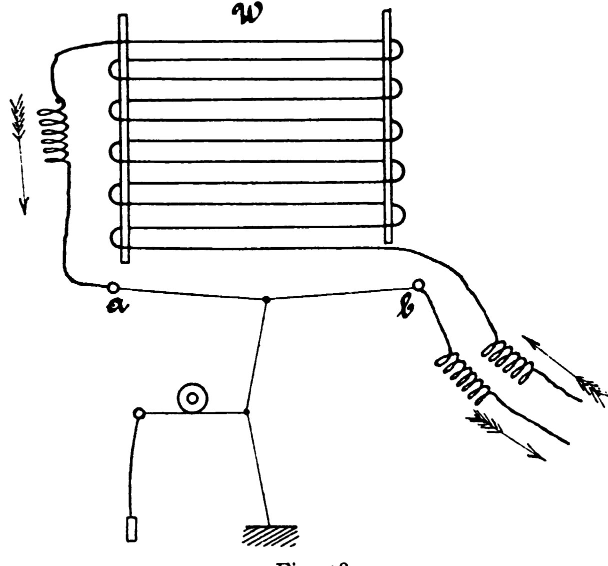


Fig. 98.

Auch die Hummelschen Voltmeter haben häufig noch einen Vorschaltwiderstand, der gewöhnlich separat für sich in einer aus durchbrochenem Blech bestehenden Dose hinter dem Schaltbrett angebracht ist.

Das Voltmeter System Weston ist in Fig. 99 schematisch dargestellt; es besteht aus einem kräftigen Hufeisenmagnet mit Polschuhen, in deren zylindrischer Bohrung sich eine Drahtspule aus sehr einem isolierten Draht um eine Achse drehen läßt und mit der gleichzeitig ein Zeiger verbunden ist. Sie hat ebenfalls einen

Widerstand W vorgeschaltet. Die Stromzuführung geschieht durch eine Silberdrahtspirale, die, wenn kein Strom fließt, die Spule wieder in ihre Ruhelage dreht.

Ein anderes Weston-Voltmeter nach Deprez-d'Arsonval führt uns in der Ansicht die Fig. 100 vor. Die Spule aus feinem Draht dreht sich um einen feststehenden, weichen Eisenkern, welcher zentrisch zwischen den Polschuhen eines permanenten Hufeisenmagnets befestigt ist. Die Stromzuführung zur Spule geschieht ebenfalls durch eine feine Spiralfeder.

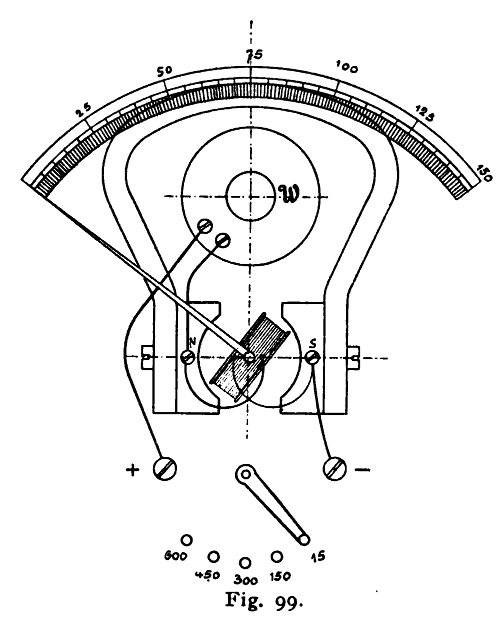


Fig. 99.

Das hier abgebildete Instrument, ein Musterstück in jeder Hinsicht, ist transportabel und hat mehrere Vorschalt- oder Zusatzwiderstände, die vermittels einer Kurbel zu- oder abgeschaltet werden können; dadurch werden verschiedene Meßbereiche erzielt. Die Teilung ist in 150 gleiche Teile durchgeführt; wird die Kurbel auf die Kontaktzahl 15 eingestellt, so beträgt der Wert eines Skalenteiles 0·1 Volt; wird die Kurbel auf 150 gestellt, so bedeutet ein Skalenteil 1 Volt usf. und wenn endlich die Kurbel auf 600 gestellt wird, so bedeutet ein Skalenteil 4 Volt. Natürlich muß man bei der Messung einer noch unbekannten Spannung vorsichtig sein und lieber gleich mit dem höchsten Meßbereich anfangen, wenn man wenigstens sicher ist, daß die zu messende

Spannung auch diesen Bereich nicht übersteigt; dann kann man erst nach Bedarf auf die kleineren Meß-bereiche zurückgehen.



Fig. 100.

Da die Drehung der stromdurchflossenen Spule genau der Stromstärke proportional ist, so ist die Teilung durchwegs gleichmäßig. Solche Instrumente mit genau

proportionalem Ausschlag heißen **Präzisions-Instrumente.**

Das in Fig. 100 abgebildete Präzisionsvoltmeter hat einen sehr handlichen Kasten, in welchem es zum Transport verwahrt, oder aus demselben herausgenommen, als ein Kabinettstück verwendet werden kann.

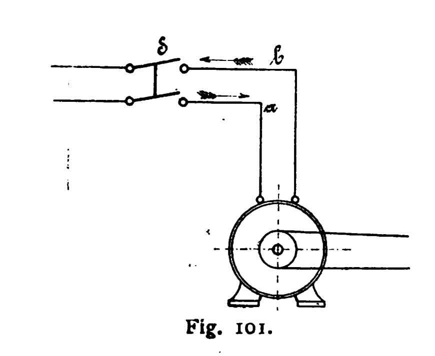


Fig. 101.

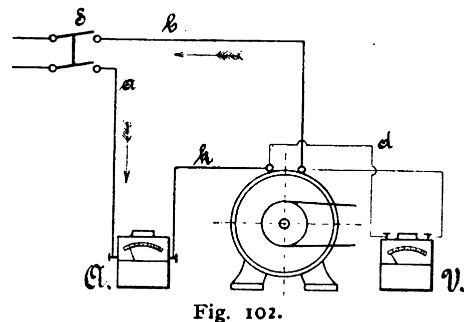


Fig. 102.

Zu bemerken wäre noch, daß durch die letztbeschriebenen zwei Instrumente der Strom immer nur in einer bestimmten Richtung fließen muß, daß daher schon die Klemmen der Instrumente danach mit den Zeichen + und — versehen sind. Hingegen ist es beim Hitzdraht-Instrumente einerlei, in welcher Richtung der Strom dasselbe durchfließt, denn erwärmt wird ja der Hitzdraht immer.

Hiermit wollen wir auch das Kapitel über Spannungsmesser schließen, und da für uns Praktiker die richtige und zweckmäßige Anwendung eines gegebenen Instrumentes eigentlich die Hauptsache ist, so wollen wir in Kürze an einem praktischen Beispiele die Anwendung des Ampère- und Voltmeters vorführen.

Beispiel: Zu einem kleinen Motor in der Grube, welcher einen Ventilator für Separatventilation irgendeines entlegenen Querschlagsortes antreibt, wird von

Obertags elektrischer Strom zugeführt (Fig. 101). Es interessiert uns, zu erfahren, wieviel Ampère der Motor aufnimmt, und mit welcher Klemmenspannung der Strom hier ankommt?

Wir nehmen uns zu diesem Zwecke in die Grube ein transportables Volt- und ein Ampèremeter mit; beim Motor angelangt, lösen wir dort nach vorherigem Abschalten die eine Drahtleitung, beispielsweise *a* Fig 102 ab und schließen sie an die eine Klemme des Ampèremeters an; die andere Klemme desselben verbinden wir mit der frei gewordenen Motorklemme mittels eines kurzen, biegsamen Kabelstückes *k*. Es hat sich durch diese Schaltung an der Stromzuführung zum Motor im Prinzipe gar nichts geändert, nur muß jetzt der Strom beim Einschalten des Motors auch durch das Ampèremeter gehen. Mittels dünner Drähte *d* verbindet man nun weiters die Klemmen des Voltmeters *V* mit den beiden Klemmen am Motor, womit beide Instrumente zur Messung vorbereitet sind. Man achte immer darauf, daß während des Anlegens oder Abschaltens der Meßinstrumente der Schalter *S* immer geöffnet, also Leitungen und Motor hinter demselben **stromlos** sind.

Sind nun die Instrumente in der oben angeführten Weise, nämlich das Ampèremeter mit dem Motor hintereinander und das Voltmeter mit demselben parallel oder nebeneinander geschaltet, so kann der Motor mittels des Schalters *S* angelassen werden; beide Instrumente werden einen Ausschlag geben und man braucht dann nur, sobald sich alles im normalen Laufe befindet, abzulesen und ins Notizbuch einzutragen, wobei gleichzeitig die Touren gemessen werden usw.

Die Widerstandsmessung.

Das Ohmsche Gesetz lautet bekanntlich:

Elektromotorische Kraft = Intensität × Widerstand

oder:

$$e = i \times w,$$

daraus ist der Widerstand $w = \frac{e}{i}$; also haben wir in dieser Formel ein Mittel zur Messung des Widerstandes gegeben. Wir messen auf uns bereits bekannte Art und Weise Spannung und Stromstärke und dividieren die so erhaltenen Zahlen durcheinander.

Beispiel: Wir haben eine Rolle eines mit Seide umsponnenen Manganindrahtes von 1 mm^2 Querschnitt. Da wir denselben gerne als Vorschaltwiderstand zu irgendeinem Experiment benutzen möchten, so wollen wir die Größe dieses Widerstandes kennen lernen. Wir schicken durch diese Rolle aus irgendeiner Elektrizitätsquelle mit konstanter Spannung einen Strom durch und messen gleichzeitig Spannung und durchfließende Strommenge; dieselbe ergibt sich mit: 112·3 Volt und 2·4 Ampère. Daraus der Widerstand

$$w = \frac{e}{i} = \frac{112{\cdot}3}{2{\cdot}4} = 46{\cdot}79\ \Omega.$$

Wir haben auf Seite 50 den sogenannten spezifischen Widerstand verschiedener Leiter kennen gelernt; das ist der Widerstand eines Drahtes von 1 *m* Länge und 1 mm^2 Querschnitt. Wir können uns also Widerstände von bestimmten Größen ein- für allemal herstellen, und zwar entweder einzeln oder eine ganze Stufenreihe als ein zusammenhängendes Ganzes, die man durch einen einfachen Handgriff hintereinander zu- oder abschalten kann; so beispielsweise ist der uns bereits bekannte Rheostat eine zusammengehörige Zusammenstellung von solchen Widerständen, die mittels einer über Kontaktknöpfe gleitenden Kurbel zu- oder abgeschaltet werden können. Solche Rheostate werden in der Regel nur im praktischen Betrieb für verschiedene größere Stromstärken angewendet und heißen auch Ballastwiderstände.

Für kleine Stromstärken, wie sie bei Messungen u. dgl. vorkommen, werden Widerstandskästen hergestellt. Eine schematische Anordnung eines solchen

Widerstandskastens sieht man in Fig. 103. Derselbe besteht dem Prinzipe nach aus einer Reihe von auf bestimmte Widerstände abgeglichener Spulen *s* aus einem Metall von hohem spezifischen Leitungswiderstande (größtenteils Manganin, Superior etc.), deren Enden an Messingklötze *k* angelötet sind. Diese letzteren sind der Reihe nach so angeordnet, daß sie sich gegenseitig nicht berühren, aber mittels Metallstöpseln *S*, wenn diese zwischen die Klötzchen in ihre halbrunden Ausnehmungen gesteckt werden, leitend miteinander verbunden sind, so daß der Strom von einer Klemme zur anderen über dieselben hinwegfließt. Wird irgendein Stöpsel, beispielsweise S_x herausgezogen, so ist zwischen den beiden Klötzchen eine Unterbrechung und der Strom ist gezwungen, den Widerstand sx zu passieren, der durch Eichung bestimmt, auf dem betreffenden Stöpsel verzeichnet ist.

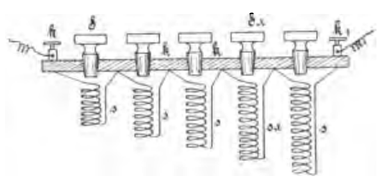


Fig. 103.

Die Widerstandsmessung kann auf verschiedene Art und Weise vorgenommen werden:

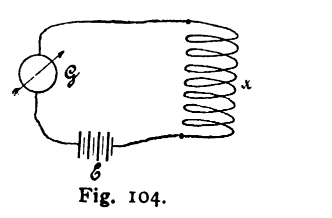


Fig. 104.

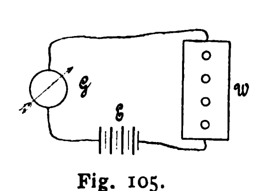


Fig. 105.

1. Durch Rechnung aus Spannung und Stromstärke.
2. Durch Vergleich.
3. Mit Hilfe der Wheatstoneschen Brücke.
4. Mit Hilfe eigens gebauter Instrumente, Ohmmeter genannt, welche einen Widerstand direkt angeben.

Wenn wir, wie in Fig. 104 angedeutet, irgendeinen Leiter *x* (Spule, Rheostat von noch unbekanntem

Widerstande etc.) mit einer Stromquelle E und einem Galvanometer hintereinander schalten, so wird das letztere einen bestimmten Ausschlag machen, den wir uns merken wollen. Nun setzen wir an Stelle des Leiters x einen Widerstandskasten W (Fig. 105) und regulieren durch Stöpselung die Widerstände so, daß das Galvanometer wieder denselben Ausschlag ergibt wie früher. Der so einregulierte und nunmehr am Widerstandskasten ablesbare Widerstand ist gleich jenem von x. Dabei ist stillschweigend vorausgesetzt, daß die Stromquelle konstante Spannung hat.

Wie man leicht einsehen kann, ist die Anwendung dieser Methode aus dem Grunde, weil der Widerstandskasten nur bestimmte Widerstände hat, ziemlich beschränkt und gibt in den meisten Fällen nur annähernde Resultate, außer man hätte einen umfangreicheren Widerstandskasten mit vielen Widerständen in vielen Abstufungen.

Wie wir bereits wissen, sind bei einem Präzisions-Voltmeter die Ausschläge desselben genau proportional. Um über die Umstände, welche auf die Ausschläge von Einfluß sind, vollständig im Klaren zu sein, wollen wir folgendes Experiment machen:

Das in Fig. 100 vorgeführte Weston-Voltmeter hat, wenn es auf den Meßbereich von 15 Volt gestellt wird, einen Instrument-Widerstand von 1629·3 Ω; schalten wir es an die Endklemmen einer kleinen Akkumulatoren-Batterie von 6 Elementen, so zeigt dasselbe genau 12 Volt an. Schalten wir nun weiters zwischen Batterie und Voltmeter einen ebenso großen Widerstand, den das letztere wie oben angegeben selbst besitzt, also 1629·3 (mittels eines Widerstandskastens), so zeigt das Voltmeter einen Ausschlag von 6 Volt an. Durch Verdoppelung des Widerstandes ist also die Spannung auf die Hälfte gesunken, woraus wir ersehen, daß die Ausschläge den Widerständen proportional sind, den Instrumentenwiderstand natürlich mit eingerechnet. Bezeichnet also:

w = Widerstand des Voltmeters
e = Spannung der Stromquelle

x = den unbekannten Widerstand

e_x = diejenige Spannung, welche sich ergibt, wenn das Voltmeter, der unbekannte Widerstand und die Stromquelle hintereinander geschaltet sind, so ist folgende Proportionalität zwischen diesen Größen:

$$(w + x) : w = e : e_x$$

daraus ergibt sich

$$x = \frac{w \times e}{e_x} - w.$$

Wenden wir diese Formel behufs Prüfung in der Weise an, daß wir die oben angeführten Zahlen einsetzen, d. i.

w = 1629·3 Ohm

e = 12 Volt

x = 1629·3 (vorläufig jedoch als unbekannt anzusehen)

e_x = 6 Volt, so erhalten wir:

$$x = \frac{12 \times 1629{\cdot}3}{6} - 1629{\cdot}3 = 1629{\cdot}3$$

also derjenige Widerstand, den wir tatsächlich vorgeschaltet haben.

Beispiel: Die Akkumulatoren zeigen auf dem Voltmeter eine Spannung von 11·95 Volt; nach dem Einschalten eines Widerstandes x, dessen Größe wir kennen lernen wollen, ergibt sich eine Spannung von 2·72 Volt.

$$x = \frac{11{\cdot}95 \times 1629{\cdot}3}{2{\cdot}72} - 1629{\cdot}3 = 5528{\cdot}8\,\Omega.$$

Bei den Präzisionsinstrumenten ist der Ausschlag genau der Stromstärke proportional, welche durch die Windungen desselben hindurchfließt. Es wird also beispielsweise bei einem Präzisionsgalvanometer der Wert eines Skalenteiles bei gleichbleibender Spannung ein ganz bestimmter sein, den wir i nennen wollen; da er bei gleichbleibender Spannung auch immer unter sonst gleichen Verhältnissen gleich bleibt, so bezeichnen wir ihn mit c (Constante des Instrumentes). Es wird

sich also im allgemeinen durch irgend eine Stromstärke ein Ausschlag a ergeben: $a = c \times i$; da aber nach dem Ohmschen Gesetze $i = \frac{e}{w}$ ist, ist also auch der Ausschlag

$$a = c \times \frac{e}{w}.$$

Ändert sich der Widerstand, indem derselbe x wird, so wird auch der Ausschlag ein anderer,

$$a_1 = c \times \frac{e}{x}.$$

Durch Division dieser beiden Gleichungen erhalten wir:

$$\frac{a}{a_1} = \frac{w}{x} \text{ und daraus } x = \frac{a_1 w}{a}.$$

Die Wheatstonesche Brücke. Diese ist eine sehr zweckmäßige Kombination von vier Widerstandsgruppen, wobei sich aus drei davon bekannten Widerständen der unbekannte berechnen läßt.

Denken wir uns vorerst einmal, wie in Fig. 106 dargestellt ist, den von einer Stromquelle E kommenden Strom in die beiden parallelen Zweige ABC und ADC geteilt, so werden die Stromstärken in denselben proportional den Widerständen sein. Es seien die Widerstände w_1 w_2 w_3 bekannt, x sei ein unbekannter, erst zu bestimmender Widerstand. Bestimmen wir durch Messung mittels Ampèremetern die Stromstärke J_1 und J_2, so bekommen wir nach den Regeln der Stromverteilung folgendes Verhältnis:

$$(w_2 + x) \times J_1 = J_2 \times (w_1 + w_3)$$

In dieser Formel sind alle Größen bis auf x bekannt, welches wir leicht berechnen können:

$$x = \frac{J_2 \times (w_1 + w_3)}{J_1} - J_1 w_2.$$

Zu dieser Messung wären also zwei Ampèremeter erforderlich, wovon jedes in einem der beiden Stromzweige *ABC* und *ADC* eingeschaltet werden müßte; da aber bei dieser Methode mit sehr geringen Stromstärken gearbeitet wird, so müßten sehr feine, empfindliche Ampèremeter gewählt werden, und wir werden daher trachten, uns von diesen Instrumenten unabhängig zu machen, also die Stromstärken irgendwie zu eliminieren.

Denken wir uns, wie in Fig. 107 vorgeführt, zwischen die beiden Punkte *B* und *D* ein Galvanometer eingeschaltet, also eine leitende Verbindung, eine Brücke zwischen den genannten Punkten hergestellt, so wird infolge einer Spannungsdifferenz zwischen denselben über die Brücke ein Stromübergang stattfinden, somit

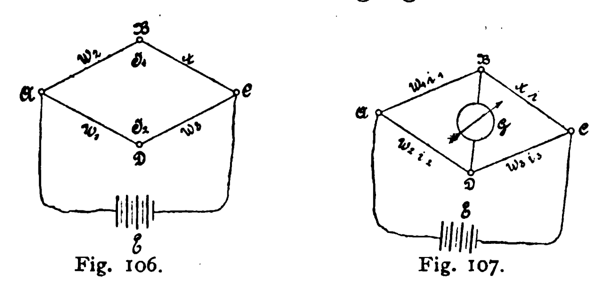


Fig. 106. Fig. 107.

das Galvanometer einen Ausschlag geben. Der in *A* eintretende Strom teilt sich im Verhältnis der Widerstände w_1 und w_2 (Fig. 107); beide Teilströme langen in den Punkten *B* beziehungsweise *D* an und stoßen dort auf die Widerstände x beziehungsweise w_3. Im Punkte *B* sowohl wie in *D* findet abermals eine Stromverzweigung statt. Der Widerstand w_3 beispielsweise sei der soeben an ihn herantretenden Stromstärke i_2 (aus dem Zweige *AD* kommend) nicht proportional, sondern größer, so wird sich der Strom in *D* abermals teilen, und zwar in die Zweige *DC* und *DB*, um also teilweise, den Widerständen entsprechend, auch über *B* nach *C* zu fließen, was man daran erkennt, daß das Galvanometer in einer bestimmten Richtung einen Ausschlag macht. Wenn wir nun den Widerstand w_3 so lange ändern, bis das

Galvanometer keinen Ausschlag mehr gibt, so herrscht in den beiden Parallelzweigen Gleichgewicht; die Brücke *BD* scheint gar nicht vorhanden zu sein. Ist der Widerstand in w_3 kleiner als in x, so wird ein Teil des in *B* ankommenden Stromes über *D* nach *C* fließen und das Galvanometer wird verkehrt ausschlagen; um auf der Brücke wieder Gleichgewicht herzustellen, muß man bei w_3 Widerstände zugeben, also den Strom gleichsam stauen, ebenso wie wir es bei einem verzweigten Wasserfluß machen müssen.

Die Widerstände w_1 und w_2 werden auch Zweigwiderstände, der Widerstand w_3 Abgleichswiderstand genannt.

Wir haben nun die Frage zu beantworten: Was für ein Verhältnis besteht zwischen den einzelnen Widerständen, wenn auf der Brücke Gleichgewicht herrscht, das Galvanometer also keinen Ausschlag mehr gibt?

Ein Strom kann von einem Punkte zum anderen nur dann fließen, sobald zwischen beiden eine Spannungsdifferenz besteht; wenn also auf unserer Brücke Gleichgewicht herrscht, so ist zwischen den beiden Punkten *B* und *D* keine Spannungsdifferenz, da ja durch das Galvanometer nach keiner Richtung hin ein Strom fließt. Somit ist die Spannung e_1 zwischen *AB* und *AD* gleich, und ebenso jene e_2 zwischen *BC* und *DC*, also:

$$e_1 = i_1 \times w_1 = i_2 \times w_2$$
$$e_2 = i \times x = i_3 \times w_3.$$

Weil auch die Stromstärken nach der Herstellung des Gleichgewichtes keine Verteilung mehr über die Brücke erfahren, so sind die Zweigströme in beiden Hälften einander gleich, nämlich

$$i_1 = i;\ i_2 = i_3.$$

Setzen wir in die oberen Formeln die Werte für i_1 und i ein, so bekommen wir:

$$i \times w_1 = i_2 \times w_2$$
$$i \times x = i_2 \times w_3$$

dividieren wir diese beiden Gleichungen durcheinander, so erhalten wir das Verhältnis:

$$\frac{w_1}{x} = \frac{w_2}{w_3}$$

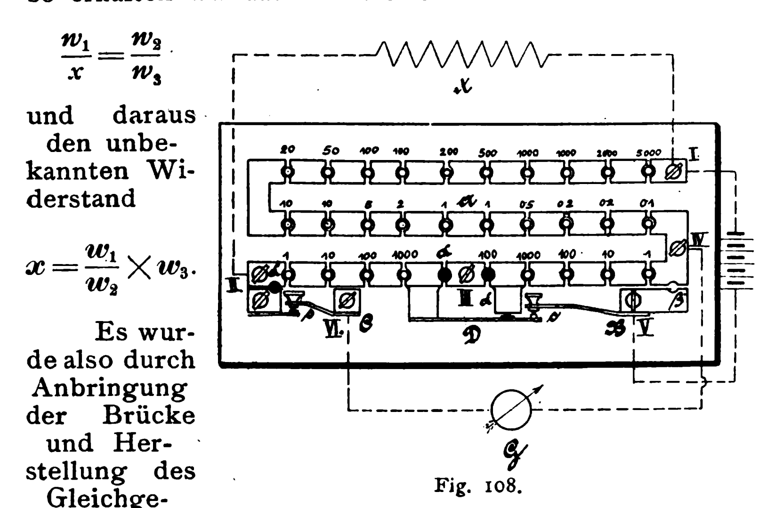


Fig. 108.

und daraus den unbekannten Widerstand

$$x = \frac{w_1}{w_2} \times w_3.$$

Es wurde also durch Anbringung der Brücke und Herstellung des Gleichgewichtes die Stromstärke aus der Rechnung eliminiert.

Die praktische Anordnung der in Fig. 107 schematisch angegebenen Brücke wird nun verschiedenartig durchgeführt; so z. B. ist eine sehr gute und beliebte Anordnung jene von Siemens & Halske, unter dem Namen Universalwiderstandskasten bekannt, die in Fig. 108 in der schematischen Draufsicht und in Fig. 109 in der Ansicht abgebildet erscheint. Wenn wir die Wege verfolgen, welche der eingeschaltete Strom durch die Stöpsel, beziehungsweise Widerstände nimmt, so erhalten wir schematisch



Fig. 109.

nichts anderes, als das Prinzip der in Fig. 107 gezeichneten Brücke, welches Schema mit der zugehörigen Buchstabenbezeichnung wir in Fig. 110 aufgezeichnet finden. Die Gruppe *A* der Widerstände von 0·1 bis 5000 Ohm entspricht dem in Fig. 107 verzeichneten w_3, also dem Abgleichswiderstand; *C* und *B* entsprechen dem Verhältnis $\frac{w_1}{w_2}$, also den Zweigwiderständen. Mit dem Taster *t* wird der Strom und mit dem Taster *s* das Galvanometer geschlossen; der Stöpsel *α* muß bei der Messung immer stecken, der Stöpsel *β* hingegen darf nicht stecken.

Die Widerstände *B* und *C* haben die Gruppen:

1, 10, 100, 1000 Ohm;

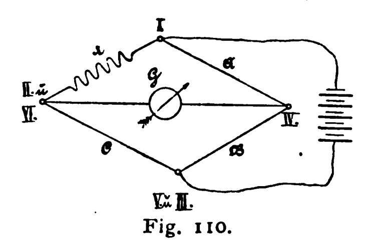


Fig. 110.

der Abgleichswiderstand *A* hat die Widerstände von 0·1 bis 5000 Ohm, also zusammen 10.000 Ohm. Die Brücke hat somit einen großen Meßbereich; denn setzen wir zuerst die Werte folgendermaßen ein:

$$C = 1;\ B = 1000 \text{ und } A = 0{\cdot}1\ \Omega$$

so wird

$$x = \frac{C}{B} \times A = \frac{1}{1000} \times 0{\cdot}1 = 0{\cdot}0001\ \Omega$$

und das zweitemal:

$$C = 1000;\ B = 1 \text{ und } A = 10.000$$

so wird

$$x = \frac{1000}{1} \times 10.000 = 10{,}000.000$$

oder 10 Megohm.

Beispiel: Wir brauchen für unsere Experimente einen Rheostat, um mit einem uns zur Verfügung stehenden Gleichstrom einige Versuche, beispielsweise an dem in der Fig. 26 vorgeführten Elektromagnet, vor-

nehmen zu können. Wir haben in dem Beispiel auf Seite 57 gesehen, daß es nicht ohne weiteres möglich ist, diesen Magnet an das Netz anzuschließen, da die Stromstärke wegen seines geringen Widerstandes zu hoch ansteigen würde.

Unsere allererste Aufgabe wird es nun sein, uns über die Widerstände des Rheostaten ein Bild zu schaffen, also dieselben zu bestimmen. Zur Verfügung steht uns diesmal ein Universalwiderstandskasten, ein gutes aperiodisches Galvanometer und eine Akkumulatorenbatterie von 12 Volt Spannung.

Wir schalten nach Fig. 108 den Rheostat an die Klemmen I und II und das Galvanometer an VI und IV. Die Fig. 111 führt uns die Schaltung vor. Der Rheostat, wie wir aus dieser Figur sehen, ist ein Kurbelrheostat mit 12 Kontakten; wir werden die Kurbel von Kontakt zu Kontakt verschieben und jedesmal den dieser Kurbelstellung entsprechenden Widerstand bestimmen.

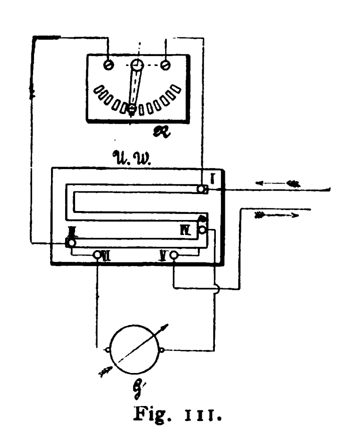


Fig. 111.

Fangen wir mit der äußersten Stellung rechts an. Die Zweigwiderstände wurden folgend gestellt:

$$C = 1; \quad B = 10;$$

das Galvanometer gab keinen Ausschlag mehr bei einem Abgleichswiderstand

$$A = 100{\cdot}9 \text{ Ohm.}$$

Somit ergibt sich der Widerstand für diesen Kontakt:

$$x = \frac{1}{10} \times 100{\cdot}9 = 10{\cdot}09 \text{ Ohm.}$$

Die weiteren sukzessive von rechts nach links ermittelten Widerstände ergaben:

10·94 Ohm
12·20 „
13·60 „
15·50 „
17·91 „
21·43 „
26·85 „
34·50 „
52·50 „

Der elfte Kontakt 106·00 Ohm und der letzte Kontakt links 10,000.000·00 Ohm! Was heißt das? Die Sache ist sehr einfach; dieser Kontakt ist nämlich mit den im Kasten befindlichen Widerstandsspiralen gar nicht in Verbindung, sondern ist nur einfach auf der Marmortafel angeschraubt und dient der Kurbel als Ruhekontakt; somit ist bei dieser Kurbelstellung ausgeschaltet. Die Zahl 10 Megohm gibt den Isolationswiderstand des Kastens an.

Nun sind wir also über unseren Rheostat im klaren, und können uns einerseits bei den einzelnen Kontakten die Widerstände anmerken, anderseits sind wir aber auch imstande, mit Rücksicht auf die obgenannte Spannung von 110 Volt, mit der wir zu tun haben, die Stromstärke zu bestimmen, welche wir aus jedem einzelnen Kontakt herausbekommen. Nach dem Ohmschen Gesetze ist:

$$i = \frac{e}{w}.$$

Man wird also, wenn man die Kurbel von dem Ruhekontakt auf den daneben befindlichen mit 106 Ω bezeichneten schiebt, folgende Strommenge erhalten:

$$i = \frac{e}{w} = \frac{110}{106} = \text{rund 1 Ampère.}$$

Vom zweitnächsten Kontakt erhält man weiters:

$$\frac{110}{52\cdot5} = \text{rund } 2 \text{ Ampère}$$

usw. der Reihe nach immer um 1 Ampère mehr bis zum letzten Kontakt, der mit 10·09 Ω bezeichnet ist, somit die Stromstärke

$$\frac{110}{10\cdot09} = \text{rund } 11 \text{ Ampère.}$$

Die Anordnung dieses uns vorliegenden Rheostaten ist also so getroffen, daß durch Abschalten von Widerständen die Stromstärke stufenweise von Ampère zu Ampère wächst, wir also bei Benutzung desselben je nach Bedarf mit der Stromstärke von 1 bis 11 Ampère arbeiten können.

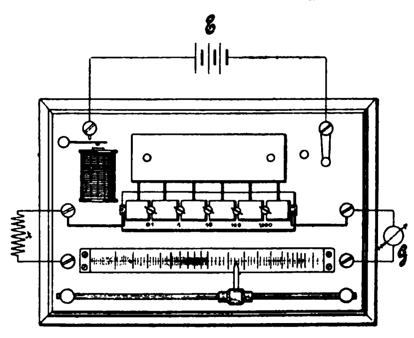


Fig. 112.

Ein anderes Instrument zur Messung von Widerständen ist die **Universal-Meßbrücke** nach Kohlrauch, angefertigt von der Firma Hartmann & Braun. Sie hat einen viel kleineren Meßbereich als der vorher beschriebene Universalwiderstandskasten, nämlich von 0·05 bis 20.000 Ohm; sie läßt aber ein rascheres Arbeiten zu, und können mit ihr auch noch Widerstandsmessungen anderer Natur vorgenommen werden.

Die Meßbrücke ist in der Draufsicht in Fig. 112 gezeichnet. Die Zweigwiderstände w_1 und w_2 sind hier durch einen gerade ausgespannten, durchwegs egalen Neusilberdraht gebildet, der zwischen zwei Klemmen auf der Holzplatte ausgespannt, eine verschiebbare Klemme trägt, welche dem Punkte A in Fig. 107 oder dem Punkte V in Fig. 110 entspricht, so daß dieser Punkt an einer beliebigen Stelle des Drahtes eingestellt werden kann, um den Galvanometerausschlag gleich Null zu

machen. Unter dem Drahte befindet sich eine Längenteilung, über der ein Zeiger der verschiebbaren Klemme spielt, so daß man die Entfernungen desselben von der Mitte nach links oder rechts ablesen kann. Diese Längen werden in die Rechnung statt der mit denselben identischen Widerstandswerte w_1 und w_2 eingesetzt. Der Abgleichswiderstand besteht aus: 0·1, 1, 10, 100 und 1000 Ohm.

Bei der Messung eines Widerstandes wird zuerst ein Stöpsel am Abgleichswiderstand gezogen; dann wird die Klemme am Neusilberdraht so lange verschoben, bis das Galvanometer beim Öffnen und Schließen des Stromes keinen Ausschlag mehr gibt. Bei den neueren Meßbrücken ist das Verhältnis $w_1 : w_2$ (beziehungsweise $l_1 : l_2$) für jede Zeigerstellung schon angegeben; man braucht daher nur jedesmal die abgelesene Zahl mit dem Werte des gezogenen Abgleichswiderstandes zu multiplizieren, um sofort den gesuchten Widerstand x zu bekommen.

Aus dem auf Seite 104 vorgeführten Experiment, wo wir bei konstanter Spannung Widerstände vor das Voltmeter geschaltet haben, haben wir kennen gelernt, daß die Voltmeterausschläge proportional dem Wachsen derselben abnehmen. Wenn man daher ein solches Präzisionsinstrument zweckmäßig nach bekannten Widerständen eicht, bekommt man einen direkt zeigenden Widerstandsmesser oder Ohmmeter genannt, vorausgesetzt natürlich, daß immer nur diejenige Spannung bei der Messung verwendet wird, für welche das Ohmmeter geaicht ist. Bei einer anderen Spannung würde dieses Instrument falsch zeigen. Die Firma Hartmann und Braun verfertigt eine ganze Anzahl von solchen direkt zeigenden Ohmmetern, die in transportablen Holzkasten eingebaut, genau so aussehen, wie die in Fig. 94 und 97 abgebildeten Volt- und Ampèremeter von derselben Firma. Da es in der Praxis, was Widerstandsmessungen anbelangt, eine große Anzahl von verschiedenen Meßbereichen gibt, so bestehen danach auch Ohmmeter für verschiedene Meßbereiche.

Außerdem erzeugt die genannte Firma Ohmmeter, welche in weiten Grenzen von der Spannung unab-

hängig sind; sie sind nach dem Drehspulprinzip eingerichtet, und zwar derart, daß in einem starken, konstanten magnetischen Felde ein System aus zwei gekreuzten Spulen beweglich ist; dieselben geben infolge ihrer eigenartigen Anordnung direkt das Verhältnis $\frac{e}{i}$ an, was nichts anderes ist als der jeweilige Widerstand, der direkt auf einer Skala angezeigt wird. Bei geöffnetem Meßstrom hat der Zeiger keine bestimmte Ruhelage. Wie gesagt, diese Instrumente werden für verschiedene Meßbereiche hergestellt; so beispielsweise gibt es solche für 0·01 bis 10 Ohm, andere wieder von 100 bis 100.000 Ohm usw.

Isolationsmessungen.

Wir haben uns nun einem Kapitel zuzuwenden, das über den Isolationswiderstand und dessen Messungen handelt. Unter dem Isolationswiderstand versteht man den Widerstand zwischen einem Leiter und der Erde.

Durch zahlreiche, wiederholte Versuche wurde festgestellt, welche Körper die Elektrizität gut, welche schlechter und welche dieselbe gar nicht weiterleiten, wie wir davon schon auf Seite 49 gesprochen haben. Danach haben wir einen Unterschied zwischen Leitern und Isolatoren (Nichtleitern) gemacht. Damit also von einer Leitung die Elektrizität nicht zur Erde entweicht, werden die guten Leiter mit schlechten umhüllt, oder auf diese befestigt, d. h. die Leitungen werden auf Isolatoren verlegt.

Einen vollkommenen Isolator gibt es fast gar nicht. Wird nun durch verschiedene Umstände, wie durch Feuchtigkeit, Schmutz u. dgl. das Isolationsvermögen der Isolatoren vermindert, so wird ein Teil des elektrischen Stromes über diese mangelhafte Stelle in die Erde abgeleitet und geht somit für den Betrieb verloren.

Die Elektrizität wird mittels eines Generators (Dynamo) aus dem unerschöpflichen Elektrizitätsmeere

des Weltalls geschöpft und mittels der Leitungen, die gleichsam Gefäße darstellen, zu dem Verbrauchsorte weiter getragen. Sind nun diese Gefäße nicht dicht genug, also löcherig, so wird ein Teil der Elektrizität wieder in den großen Behälter, also zur Erde, abfließen, wie wenn man mit einem löcherigen Gefäß Wasser aus einem Behälter schöpfen würde. Das Herausrinnen des Wassers aus einem solchen mangelhaften Gefäße sieht man sofort, den Dampfaustritt aus einer schlecht abgedichteten Dampfleitung hört man sogleich, das Entweichen der Elektrizität hört und sieht man aber nicht!

Gerade hier ist es Pflicht und Schuldigkeit aller, die den Betrieb überwachen, nicht nur wegen der Verluste selbst, sondern hauptsächlich wegen der Sicherheit des Betriebes und der Personen, diese unerwünschten Verluste zu überwachen, d. h. den Isolationszustand der elektrischen Leitungen zu prüfen und zu kontrollieren; man muß bei den gegen die Rohrleitungen so einfach aussehenden elektrischen Leitungen um so wachsamer sein. Ein Isolationswiderstand, also ein gewisser Übergang läßt sich bei jeder Leitung, jedem Leitungsnetz konstatieren, doch darf derselbe nicht in einen Isolationsfehler ausarten.

Den Isolationszustand seiner Anlage gegen Erde sowohl, wie der Leitungen gegeneinander muß man durch grobe tägliche, sowie durch feinere periodische Messungen stets überwachen, denn nur dadurch ist man imstande, sich über denselben ein klares Bild zu schaffen, und etwa im Entstehen begriffene Fehler rechtzeitig zu beheben. Besonders bei uns Bergleuten ist es sehr wichtig, den Leitungen und elektrischen Maschinen in der Grube in dieser Hinsicht eine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, denn hier ist die gesättigte feuchte Grubenluft der Ableitung der Elektrizität zur Erde besonders günstig, weil eben alles, somit auch die Isolatoren feucht werden, und daher besonders für den Menschen Gefahr vorhanden; denn infolge der begrenzten Streckenhöhe kommt man mit den Leitungen leichter in Berührung und weil eben alles feucht ist, bildet auch der

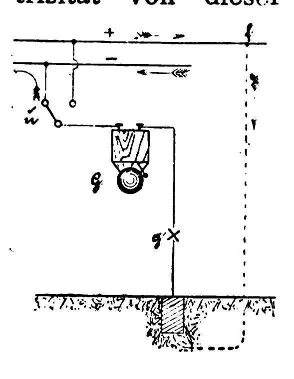
menschliche Körper, der außerdem auf einem feuchten Boden steht, oder mit Schienen in Berührung kommt, einen guten Übergangsleiter zur Erde. Alles ist vergänglich, und somit auch eine noch so gute Isolation. Lassen wir unangerührt ein Radirgummi längere Zeit hindurch am Schreibtisch liegen, so fängt es an, sich zu verändern, sein Aussehen wird ein anderes; es erhärtet und wird rissig. Blanke Maschinenteile, längere Zeit unangerührt, werden matt und später rostig. Ebenso steht es mit der Isolation von elektrischen Leitungen. Im Verlaufe der Zeit wird sie durch Witterungseinflüsse Luft und Feuchtigkeit angegriffen, dadurch vorerst an der Oberfläche schlecht, rissig usw. und die Verderbnis schreitet langsam, unauffällig, aber um so sicherer und unaufhaltsamer gegen das Innere zu, bis schließlich die ganze Hülle schlecht wird.

Bei den modernen elektrischen Anlagen wird daher auf eine möglichst solide Isolation das Augenmerk gerichtet und der bestisolierte Leiter wird so behandelt und verlegt, als ob er blank wäre. Nicht also so primitiv, wie vielleicht vor 20 Jahren, wo man sich damit begnügte, einen solchen isolierten Leiter mittels Eisenkrampen an die nackte Wand oder an einen Holzbalken zu nageln. Ein halbwegs elektrotechnisch gebildeter Betriebsbeamter oder Werkmeister wird daher dem modernen Installateur keinen Einwand machen, wenn derselbe in Gebäuden u. dgl. einen sonst sehr gut isolierten Draht noch auf Porzellan- oder Glasrollen verlegt, die dazu noch ziemlich dicht, höchstens einen halben Meter auseinander stehen.

Nach der Aufstellung und der ersten Inbetriebsetzung ist der Isolationszustand einer solchen Anlage natürlich ein ausgezeichneter; doch wie wir aus den vorhergehenden Betrachtungen ersehen können, wird jedenfalls die Isolationsfähigkeit der Anlage mit ihrem Alter abnehmen, so daß es also notwendig ist, die Anlage nicht ohne weiteres sich selbst zu überlassen, sondern durch regelmäßige Prüfungen und Messungen den Isolationszustand derselben zu überwachen, um rechtzeitig auf die Entwicklung irgend eines Fehlers zu kommen.

Die tägliche rohe Prüfung des Isolationszustandes nun geschieht mit Hilfe der sogenannten **Erdschluß-prüfer,** die größtenteils aus einer gewöhnlichen Klingel bestehen. Die Schaltung führt uns die Fig. 113 vor. An die Hauptleitungen ist ein Umschalter *u* angeschlossen, welcher anderseits mit der einen Klemme der Klingel in Verbindung steht; die zweite Klemme ist mit der Erde leitend verbunden. Die leitende Verbindung wird gewöhnlich mittels Anschluß an Wasserleitungen oder an einen Blitzableiter hergestellt.

Wenn nun beispielsweise bei der Stelle *f* der Hauptleitung ein Erdschluß infolge schlechter Isolation entstanden ist, so fließt die Elektrizität von dieser



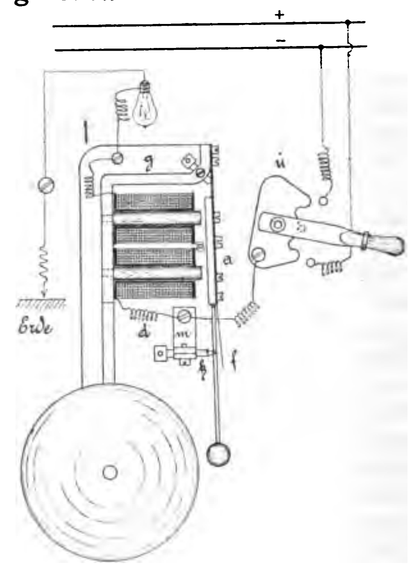


Fig. 114.

Stelle zur Erde ab, und falls der Umschalter auf die soeben gezeichnete Stellung geschaltet ist, durch die Glocke und denselben zur anderen Leitung. Wenn also die Glocke ertönt, so weiß man, daß aus der anderen, nicht mit dem Umschalter geschalteten Leitung ein elektrischer Strom zur Erde entweicht.

Zum Schutze der Magnetwindungen der Glocke vor etwaiger übermäßiger Stromstärke sind eine oder

mehrere Glühlampen *g* angebracht, je nach der Stromspannung.

Die Fig. 114 führt uns in der Ansicht einen Erdschlußprüfer vor, der etwas anders konstruiert ist und der sich durch eine größere Empfindlichkeit auszeichnet.

Mittels eines Umschalters *u* kann wieder der Strom der positiven oder negativen Leitung eingeschaltet werden. In jedem Falle fließt bei etwaigem Erdschluß der Strom auf das Messingstück *m*, von diesem durch den Draht *d* in die Magnetspulen und von diesen durch die Glühlampe zur Erde. Dadurch werden die Elektromagnete erregt und ziehen den auf einer sehr elastischen Blattfeder angeschraubten Anker *a* an, wodurch das Ende *f* der Feder mit der Kontaktschraube *k* in Berührung kommt; dies hat zur Folge, daß nunmehr der Strom durch die Feder in das Gerippe *g*, und weil dieses mit dem Zuleitungsdraht zur Lampe metallisch verbunden ist, durch letztere ebenfalls zur Erde abfließt, wogegen durch die Solenoide infolge ihres viel größeren Widerstandes in diesem Augenblicke kein Strom fließt. Die Eisenkerne werden infolgedessen unmagnetisch und die Feder mit ihrem Anker schnellt wieder zurück. Die Fig. 115 führt uns diesen Erdschlußprüfer in der Ansicht vor, wobei die Lampe und die den Mechanismus überdeckende Kapsel abgenommen sind.



Fig. 115.

Will man einen solchen Erdschlußprüfer noch einfacher gestalten, so läßt man die Glocke weg, und ordnet einfach Glühlampen nach Fig. 116 an; aus dem mehr oder weniger hellen Erglühen der einen oder der anderen Lampe kann auf den Isolationszustand in roher Weise geschlossen werden. In derjenigen Leitung, in welcher ein Isolationsfehler liegt, wird die auf dieser Seite befindliche Lampe dunkler brennen. Glühen jedoch beide Lampen gleich stark, so kann man nicht mit Bestimmtheit sagen, ob überhaupt ein Fehler vorhanden ist, denn dann müßte er in beiden Leitungen gleich stark sein.

Bei Drehstromanlagen werden für in der Erde oder im Schachte zu verlegende Leitungen sogenannte verseilte Kabeln benutzt, in denen alle drei Leitungen, eine gegen die andere gut isoliert, manchmal auch jede mit einem eigenen Bleimantel versehen, nach Art eines Förderseiles mit sehr flachem Schlage zu einem einzigen Kabel zusammengewickelt sind. Jede isolierte Wechselstromleitung nun ist, wie wir später erläutern werden, mit Kapazität behaftet (Ladungsströme im Bleimantel und in der Armierung), was zur Folge hat, daß ein eingeschalteter Erdschlußprüfer auch bei einer sehr guten Kabelisolation Ströme anzeigt. Bei gut isolierten Drehstromkabeln sind nun diese Ströme in allen drei Leitern gleich stark und daher auch die Ausschläge des Erdschlußprüfers in allen drei Phasen die gleichen. Sind sie hingegen ungleich, so hat eine der Leitungen einen Isolationsfehler.

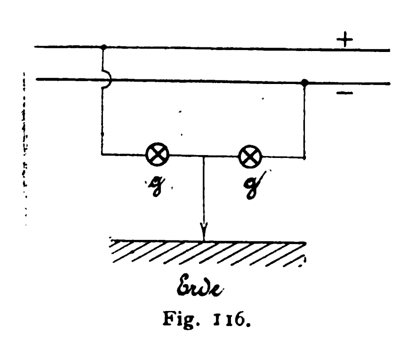


Fig. 116.

Bei einem Erdschluß handelt es sich immer um ein Entweichen des elektrischen Stromes in die Erde; wir können daher einen Isolationszustand dadurch bestimmen, daß wir diesen Strom messen, indem wir an

Stelle der Klingel ein feines Ampèremeter schalten und statt des Betriebsstromes eine Batterie benutzen. Die zu solchen Messungen benutzten Instrumente werden Milliampèremeter genannt, weil ein Skalenteil desselben ein Tausendstel bis ein Hunderttausendstel Ampère angibt. Die Schaltung eines solchen Instrumentes, sowie der Batterie, gibt die Fig. 117 an. Die Firma Hartmann & Braun führt die Milliampèremeter als Präzisionsinstrumente in den verschiedensten Meßbereichen aus und es können auch mehrere solcher Bereiche in einem einzigen Instrument vereinigt werden.

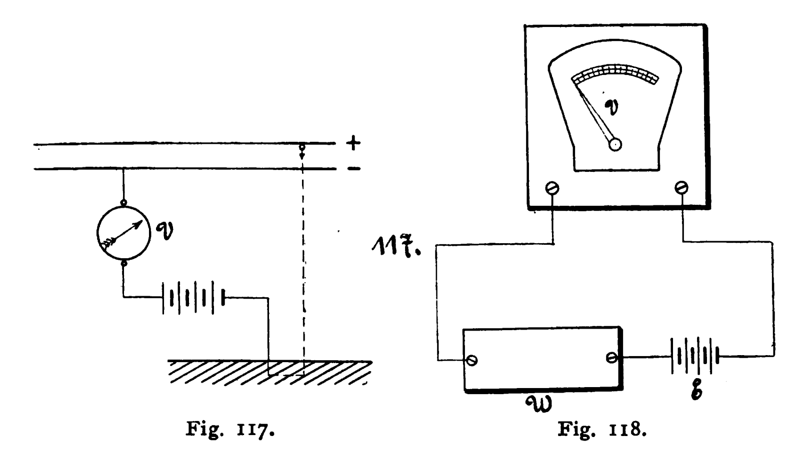


Fig. 117. Fig. 118.

Nach dem Ohmschen Gesetze ist der Widerstand

$$w = \frac{e}{i};$$

die Stromstärke lesen wir am Milliampèremeter ab, die Spannung der Batterie ist bekannt und so können wir den Isolationswiderstand in Ohm ausdrücken.

Auch ein Präzisionsvoltmeter können wir zur Messung des Isolationswiderstandes mit Vorteil verwenden. Wir machen vorerst ein Experiment: Wir schalten nach Fig. 118 an die Klemmen einer Batterie das in Fig. 100 abgebildete Voltmeter und lesen eine

Spannung von 12 Volt ab. Das Voltmeter hat nach der Angabe der Eichung für diesen Meßbereich einen Widerstand von $g = 1629{\cdot}3$ Ohm. Nun schalten wir zwischen Batterie und Voltmeter einen Widerstandskasten W ein und stellen an diesem durch Herausziehen von Stöpseln einen ebenso großen Widerstand her als das Voltmeter hat, nämlich 1629·3 Ohm. Die Ablesung des letzteren ergibt nur mehr 6 Volt. Es ist also die Spannung im Instrument durch Verdoppelung des Gesamtwiderstandes auf die Hälfte gesunken. Schalten wir durch Stöpselung den Widerstand $9 \times g$ ein, so ergibt die Ablesung am Voltmeter 1·2 Volt; es ist also die Spannung ein Zehntel der ursprünglichen geworden, trotzdem die Klemmenspannung der Batterie selbst konstant 12 Volt beträgt. Wir können jeden beliebigen Widerstand herstellen und wir werden durch Rechnung zu dem Schlußergebnis kommen, daß bei gleichbleibender Spannung die Voltmeterausschläge jedesmal im verkehrten Verhältnis zu den eingeschalteten Widerständen stehen.

Diese Tatsache können wir nun zur Bestimmung des Isolationswiderstandes benutzen. Zu diesem Zwecke schalten wir nach Fig. 117 an Stelle des Milliampèremeters ein Voltmeter ein und lesen die Spannung gegen die Erde ab. Bedeutet g den Voltmeterwiderstand, e die Batteriespannung, w_x den unbekannten Widerstand (Isolationswiderstand), e_x die Spannungsablesung nach dem Anlegen an Erde, so besteht zwischen diesen Größen das Verhältnis:

$$(g + w_x) : g = e : e_x$$

und daraus:

$$w_x = \frac{e \cdot g}{e_x} - g.$$

In den meisten Fällen wird man jedoch an Stelle der Batterie die Netzspannung selbst benutzen, da eine transportable Akkumulatorenbatterie nicht immer zur Verfügung steht, und es besonders für die Grube sehr häufig recht umständlich wäre, eine solche mitzuführen, und wenn sie aus noch so kleinen Zellen bestehen würde.

Beispiel: Es führt zu einem Fallorthaspel durch verschiedene Strecken hindurch eine Gleichstromleitung. Wir sollen den Isolationswiderstand derselben gegen Erde mit Hilfe des in Fig. 100 abgebildeten Voltmeters bestimmen:

Im Füllorte befinden sich an einer passenden Stelle Bleisicherungen *S*, Fig. 119. Wenn wir dieselben herausnehmen, so ist Strom bis in den Fassungen 1 und 3 vorhanden. Wir legen den Pol 1 an eine im Schachte befindliche Steigleitung *r* der Wasserhaltung, in dem wir eine Glühlampe *g* zwischenschalten. An den Pol 3 legen

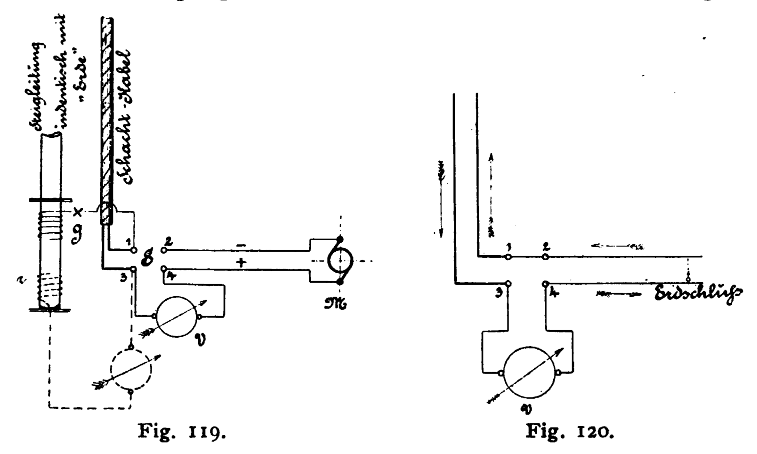


Fig. 119. Fig. 120.

wir mit der einen Klemme unser Voltmeter an, mit der anderen an eine gute Erdverbindung (also auch die Steigleitung); dadurch bekommen wir *e* (in der Fig. 119 strichliert). Hierauf wird das Präzisionsvoltmeter zwischen die Klemmen 3 und 4 geschaltet, wobei der Motor *M* an der Endstation eingeschaltet sein muß; wir bekommen nunmehr den Ausschlag e_x. Den Galvanometerwiderstand kennen wir und es läßt sich somit der Isolationswiderstand w_x nach obiger Formel berechnen. Im allgemeinen wird jener Pol an die Erde gelegt, welcher mehr Erdschluß hat; um dies zu untersuchen, verbindet man zunächst die eine Klemme des Voltmeters mit Erde,

die andere hingegen der Reihe nach mit den beiden Polen, bei noch eingesteckten Sicherungen, jedoch bei ausgeschaltetem Motor. Diejenige Leitung nun, welche den größeren Erdschluß hat, ergibt einen kleineren Ausschlag. Kommen keine nennenswerten Unterschiede in den Ausschlägen vor, so wird bei der Messung die positive Leitung an Erde gelegt.

Manchmal ist es auch notwendig, den Isolationszustand der Leitungen gegeneinander zu prüfen. Zu diesem Behufe müssen alle Motoren ausgeschaltet und Glühlampen herausgeschraubt werden, worauf der Anschluß des Meßinstrumentes nach Fig. 120 vorzunehmen ist; es bleibt also bei dieser Messung die Sicherung 1, 2 stecken. Die Spannung e bestimmt man sich vorher zwischen den Polen 1 und 3.

Bei einem ganzen Leitungsnetz würde die Messung des Isolationswiderstandes etwas umständlich sein, da man die einzelnen Leitergruppen, aus welchen das Netz besteht, immer erst abtrennen müßte, um die Messung vornehmen zu können. Es wird deshalb der gesamte Isolationswiderstand des Netzes auf einmal gemessen, wobei im Prinzipe ebenso verfahren wird wie bei den einzelnen Leitungszweigen, und es haben sich bestimmte Methoden ausgebildet, wovon wir hier einige der Hauptsache nach kennen lernen wollen.

Der Isolationswiderstand eines ganzen Netzes wird im allgemeinen viel niedriger ausfallen als wie derjenige der Leiterzweige selbst. Der Grund dafür ist einfach zu erklären. Jeder Unterstützungspunkt der Leitungen bietet, wie wir bereits wissen, dem Strome Gelegenheit, in die Erde abzufließen. Ein ganzes Leitungsnetz hat aber viele solcher Unterstützungspunkte, die in bezug auf die Stromverteilung alle parallel geschaltet erscheinen. Aus den Gesetzen über Stromverzweigung wissen wir aber, daß der reziproke Wert des Gesamtwiderstandes gleich der Summe der reziproken Werte der Zweigwiderstände ist, also:

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} \; .\;.\;.\;. + \frac{1}{w_x}.$$

Unter w_1, w_2, w_3 . . . . sind hier die Übergangswiderstände der einzelnen Isolatoren zu verstehen. Nehmen wir nun weiters an, daß alle diese Widerstände mit Rücksicht auf die gleiche Konstruktion der Isolatoren und mit Berücksichtigung der gemeinschaftlichen, gleich großen Netzspannung gleich groß sind, so ist der reziproke Wert des Gesamtwiderstandes

$$\frac{1}{W} = \frac{n}{w}$$

und daraus ergibt sich durch Umkehrung der Gleichungen

$$W = \frac{w}{n},$$

d. h. der Gesamtisolationswiderstand ist nur der n^{te} Teil des Übergangswiderstandes eines Isolators. Dadurch erklärt sich die überraschende Tatsache, daß bei einem großen Verteilungsnetz der normale Gesamtisolationswiderstand manchmal nur wenige Ohm beträgt.

Die Bestimmung der Gesamtisolation einer Anlage geschieht gewöhnlich während des Betriebes, mit Zuhilfenahme der Netzspannung selbst, was den Vorteil hat, daß man den richtigen, der herrschenden Betriebsspannung entsprechenden Widerstand erhält.

Von den vielen diesbezüglichen Methoden wollen wir zwei herausgreifen, und zwar:

1. Die Methode von Frisch oder die sogenannte Eingalvanometermethode;
2. die Nebenschlußmethoden.

1. Die Eingalvanometermethode: Man schaltet ein Galvanometer vorerst zwischen die zu messenden Leitungen und sodann mit der einen Klemme an die Erde, mit der anderen abwechselnd an die beiden Leiter und macht jedesmal die Ablesung. Bedeutet E die Ablesung zwischen den beiden stromführenden Leitern, e_1 und e_2 die Ablesungen, die man nacheinander beim Anlegen an die Leiter bekommt, wenn eine Klemme des Instrumentes der Erde anliegt, so ist der Isolationswiderstand bestimmt durch die Formel:

$$F = g\left\{\frac{E}{e_1 - e_2} - 1\right\}$$

g bedeutet den Galvanometerwiderstand. Unter Galvanometer ist hier jedes Instrument mit proportionalem Anschlag, also ein Präzisionsinstrument gemeint (beispielsweise ein Voltmeter).

Ist der Galvanometerwiderstand gegen den Isolationswiderstand groß, so verursacht ein kleiner Ablesungsfehler schon erhebliche Differenzen im Endresultat.

Die Ausführung dieser Messung ist schematisch in Fig. 121 dargestellt. In der Stellung 1 ist das Galvanometer an die beiden Leitungen geschaltet, womit die Ablesung E erhalten wird; in der Stellung 2 erhält man

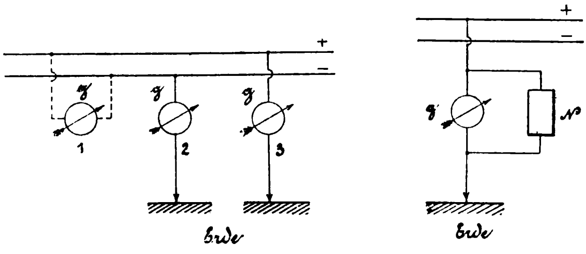


Fig. 121. Fig. 122.

die Ablesung e_1 und schließlich in der Stellung 3 die Ablesung e_2. Durchaus brauchbare Resultate erhält man, wenn die Ablesungen e_1 und e_2 womöglich weit auseinander und nicht zu klein sind. Dies erzielt man dadurch, daß man dem Galvanometer einen passenden Nebenschlußwiderstand N beigibt, wie Fig. 122 veranschaulicht. Bei der Messung 1 wird aber dieser Widerstand nicht angelegt, sondern bloß während der Messungen 2 und 3. In die Rechnung ist dann der Gesamtwiderstand von Galvanometer und Nebenschluß einzusetzen, wobei zu beachten ist, daß diese beiden Widerstände parallel geschaltet sind!

Der Gesamtwiderstand W zweier parallel geschalteter Widerstände ergibt sich aus den reziproken Werten:

$$W = \frac{w_1 \times w_2}{w_1 + w_2}$$

w_1 und w_2 sind die parallelen Widerstände.

Z. B.: Wir benutzen zu einer Messung des Isolationswiderstandes einer Anlage unser Westonsches Präzisionsvoltmeter, wie selbes in Fig. 100 abgebildet wurde. Der Widerstand desselben für den Meßbereich von 150 Volt ist 16 290·4 Ohm. Bei einer bestimmten Messung mußte demselben ein Nebenschlußwiderstand von 400 Ω beigegeben werden, um brauchbare Ablesungen für e_1 und e_2 zu erhalten. Wie groß ist das in die Rechnung einzusetzende, aus dieser Kombination sich ergebende g?

$$g = \frac{16290{\cdot}4 \times 400}{16290{\cdot}4 + 400} = 3211{\cdot}9\ \Omega.$$

Für diese Messungen läßt sich auch ein Präzisionsampèremeter gut verwenden, insbesondere dann, wenn der Isolationswiderstand der Anlage klein ist.

Der Widerstand wird dann nach folgender Formel berechnet:

$$F = \frac{E}{a_1 - a_2} - g.$$

Hierbei ist wieder E die Spannung zweier verschiedener Leiter, a_1 und a_2 sind die Ablesungen am Ampèremeter, g der Widerstand des letzteren. Erscheint es notwendig, dem Meßinstrument einen passenden Widerstand vorzuschalten (in Form einer starken Spirale aus Kupfer- oder Eisendraht), so ist in die Rechnung für g die Summe der Widerstände von Ampèremeter und Spirale einzusetzen.

2. Die Nebenschlußmethoden: Hier sei in Kürze die Nebenschlußmethode von Fröhlich erwähnt und anschließend an diese eine Modifikation derselben von Apt.

Es wird zwischen einem Leiter und Erde ein Voltmeter oder ein Galvanometer mit hohem Widerstand eingeschaltet und die Ablenkung abgelesen; dann wird dem Instrument ein Widerstand s parallel geschaltet

und derselbe so eingestellt, daß die Ablenkung am Galvanometer die Hälfte der früheren beträgt. Dann ist der Isolationswiderstand gleich s.

Um im Bedarfsfalle einen großen Instrumentenwiderstand zu erhalten, wird mit dem Galvanometer ein Hilfswiderstand hintereinander geschaltet; der Nebenschluß ist dann mit dem letzteren sowohl als mit dem Galvanometer selbst parallel zu schalten (Fig. 123); g ist das Galvanometer, w_1 der vorgeschaltete Hilfswiderstand, s der zu beiden parallel geschaltete Nebenschlußwiderstand.

Ist es nicht möglich, den Widerstand s so klein zu wählen, daß man die Hälfte des ersten Ausschlages erhält, so wird s so eingestellt, daß die zweite Ablenkung $= \frac{2}{3}$ der ersten ist. Es wird dann

$$F = \frac{s}{2}$$

Eine Modifikation dieser Methode rührt von Apt her und hat den Vorteil, für jede Art von Netzen gleich gut verwendbar zu sein, ob sie nun einen hohen oder niederen Isolationswiderstand zeigen. Sie besteht in Folgendem: Zu dem zwischen einem Leiter und Erde geschalteten Volt- oder Ampèremeter wird ein Widerstand parallel geschaltet, welcher demjenigen der genannten Instrumente gleich ist. Der Isolationswiderstand ergibt sich dann aus der Formel:

$$F = \frac{2\,a_1 - a}{a - a_1} \times g$$

a ist die Instrumentenablesung ohne Nebenschluß, a_1 diejenige nach dem Anlegen des Nebenschlusses und g der Instrumentenwiderstand. Diese Methode gibt besonders dann sehr gute Resultate, wenn der Widerstand des Meßinstrumentes dem zu messenden ungefähr gleich ist.

Um uns nun den Drehstromanlagen zuzuwenden, möge im Anschlusse an die Messung der Isolation von solchen Anlagen etwas gesagt werden.

Ist das Leitungsnetz einer Drehstromanlage außer Betrieb, wird es genau so behandelt wie die Leitungsnetze überhaupt, denn am Wesen derselben ändert sich prinzipiell nichts, mag sie nun Gleichstrom oder Wechselstromleitung heißen. Natürlich muß man dann eine fremde Elektrizitätsquelle für Gleichstrom haben, beispielsweise eine aus kleinen Zellen bestehende Akkumulatorenbatterie, wobei dann ebenso verfahren wird, wie wir schon zu Anfang dieses Kapitels beschrieben haben.

Will man den Gesamt-Isolationswiderstand der Drehstromanlage messen, wenn dieselbe im Betriebe ist, also unter eigener Spannung steht, kann die Messung ebenfalls mittels Gleichstrom vorgenommen werden, und zwar derart, daß man an eine der Leitungen eine sogenannte Drosselspule (das ist eine Spule mit vielen Windungen), dann das Instrument, und schließlich die Batterie anlegt, deren Pol die Erde berührt. Man nennt dies die **„Messung mit überlagertem Gleichstrom"** (Fig. 124). *D* ist die Drosselspule, *G* das Galvanometer, eventuell Voltmeter etc. und *E* die Batterie. Das Instrument *G* darf auf Wechselstrom nicht ansprechen.

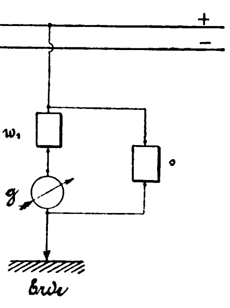


Fig. 123.

Das Prinzip dieser Messung ist die bekannte Regel, daß bei gleichbleibender Spannung der Batterie der Ausschlag des Galvanometers im umgekehrten Verhältnis zu den Widerständen steht. Es wird vorerst (Fig. 125) der Ausschlag des Instrumentes gemessen, wenn *E*, *G*, *D* und *W* hintereinander einen geschlossenen Stromkreis bilden und an Erde angeschlossen sind; der Ausschlag sei a_1. Dann wird der Widerstand *W* ausgeschaltet und *E*, *G* und *D* mit dem freibleibenden Ende an eine der Leitungen angelegt, wobei das andere fort an Erde bleibt; man erhält den Ausschlag a_2. Bezeichnen wir der Kürze halber mit *G* den Widerstand von Instrument und Drosselspule, ferner den unbekannten Isolationswiderstand mit W_x, so besteht folgendes Verhältnis:

$$(G + W_x) : (G + W) = a_1 : a_2$$

woraus W_x berechnet:

$$W_x = \frac{a_1 (G + W)}{a_2} - G.$$

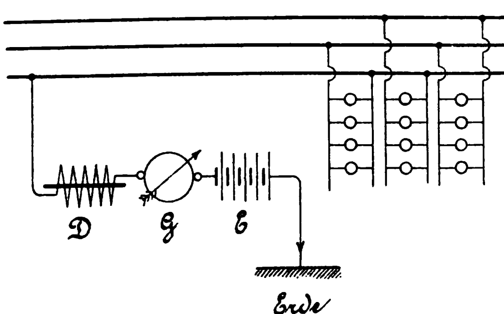


Fig. 124.

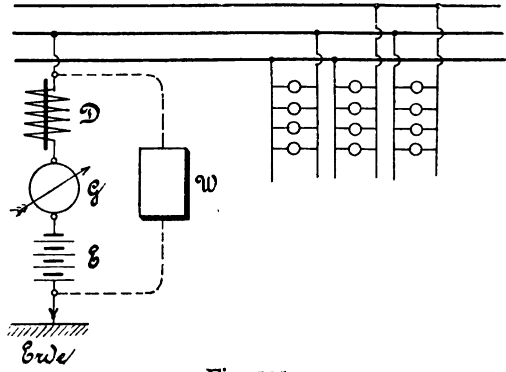


Fig. 125.

Läßt sich G gegen W vernachlässigen, so bekommt die Formel folgende einfache Form:

$$W_x = \frac{a_1}{a_2} W.$$

Sowie für Gleichstrom, so gibt es auch für Wechselstrom Isolationsmesser, die gestatten, den Isolations-

widerstand mit der Betriebsspannung direkt zu messen. Dieses Instrument wird bis zu Betriebsspannungen von ungefähr 550 Volt ausgeführt und ist in gleicher Weise in einen tragbaren Holzkasten eingebaut, wie die uns bereits bekannten transportablen Hitzdraht-Instrumente. Mit dem Instrumente lassen sich Isolaltionswiderstände von einem Megohm abwärts bei 150 Volt Spannung messen. Von einer näheren Beschreibung wollen wir hier absehen, denn es liegt jedem Instrument eine genaue Gebrauchsanweisung bei.

Wir haben also in diesem Kapitel verschiedene Wege kennen gelernt, um immer wieder zu dem einen Endziel zu gelangen, von dem Isolationszustand seiner Anlage stets ein richtiges Bild zu haben. So kann unter anderen auch die Methode der Wheatstonschen Brücke angewendet werden, die ja unzweifelhaft die genaueste Meßmethode für Widerstände ist. Steht uns daher irgend eine solche Meßbrücke, beispielsweise der Siemenssche Universalwiderstandskasten, ferner ein halbwegs empfindliches Galvanometer, sowie eine Batterie zur Verfügung, so wird man jedenfalls die wenigstens jährlich einmal vorzunehmenden Kontrollmessungen mit Vorteil mittels dieser Methode ausführen.

Bei allen Isolationsmessungen mit fremder Stromquelle ist zum mindesten eine Spannung von 100 Volt zu benutzen!

Diese hier angeführten Messungen geben zahlenmäßige Anhaltspunkte über den Isolationszustand der Anlage an; sie liefern aber, da sie ja nicht zu oft im Jahre ausgeführt werden, eine Übersicht mit großen Intervallen, so daß man eine allmähliche Entwicklung des Fehlers nicht recht beobachten kann. Wenn man daher von einer zahlenmäßigen Bestimmung des Isolationswiderstandes absieht, kann man einfach den täglichen Druckunterschied oder wie wir auch gesagt haben, die Potentialdifferenz, zwischen jedem einzelnen Leiter und Erde mittels eines passenden Präzisionsvoltmeters prüfen. Dasselbe kann mit einem dazu gehörigen Umschalter ständig am Schaltbrett angebracht werden. Diese Manipulation der Messung ist sehr rasch

und bequem ausführbar und kann daher täglich vorgenommen werden. Aus den ebenfalls täglich zu machenden Aufschreibungen wird man nun leicht aus einer etwaigen Veränderung der Voltmeteranzeige auf die Entstehung eines Fehlers schließen können.

Ob man sich nun für die oder jene Meßmethode entscheidet, ist ganz einerlei. Der Betriebsleiter wird mit Rücksicht auf das Vertrautsein mit seiner Anlage, sowie mit Rücksicht auf etwaige andere Verhältnisse interner und bergpolizeilicher Natur bald imstande sein, den richtigen Weg einzuschlagen. Hauptsache ist, sich vor Augen zu halten, daß regelmäßige Isolationsmessungen eine unerläßliche Maßregel sind! Wie sollte man denn sonst erkennen, daß unsere Leitungen keine Elektrizität verlieren? Nach Fertigstellung der Anlage die Hände einfach in den Schoß zu legen und abzuwarten, bis eine Störung oder ein Unglück eintritt, um erst dann den Fehler zu beseitigen, wäre wohl ebenso zu verurteilen wie bei einer bereits blasenden Dampfleitung zu warten, bis die Dichtung ganz herausfliegt. Daher erheischt es der Fortschritt der Zeit, daß der Betriebsleiter auch den elektrischen Betrieb sachgemäß überwacht; zweckentsprechende Methoden und Instrumente gibt es ja heutzutage hierfür genug!

Die Dynamomaschine.

Die einzige bisher dastehende Stromquelle für Elektrizität, die uns dieselbe beinahe in jedem beliebigen Quantum zu liefern vermag, ist die bekannte Dynamomaschine und es wird nach den gemachten Vorbereitungen unsere Aufgabe sein, das Wesen derselben kennen zu lernen.

Man unterscheidet Gleichstrom- und Wechselstrom-Dynamomaschinen, die häufig auch Generatoren genannt werden.

Gleichstrommaschinen.

Wir haben in der Lehre vom Elektromagnetismus die Einwirkung eines stromdurchflossenen Leiters

auf eine Magnetnadel kennen gelernt. Es fragt sich nun, was geschieht, wenn wir einen vom Strome nicht durchflossenen Leiter in ein magnetisches Feld bringen? Zu diesem Behufe stellen wir ein Experiment an, und zwar in folgender Weise:

Wir erregen recht kräftig den uns bekannten Hufeisenmagnet (bei einem von mir gemachten Experiment wurden 6 Ampère angewendet), indem wir seine Windungen vom elektrischen Strome einer Tauch- oder Akkumulatorenbatterie durchfließen lassen; dadurch erhalten wir ein kräftiges magnetisches Feld zwischen den beiden Polen. Nun nehmen wir einen Kupferstab von zirka 5 *mm* Durchmesser, der an beiden Enden angelötete Klemmen trägt, an die mittels isolierten Drahtes die Klemmen eines empfindlichen Galvanometers angeschlossen sind (Fig. 126). Bringen wir langsam den Kupferstab zwischen die beiden Pole, so wird man am Galvanometer beinahe nichts bemerken. Ebenso

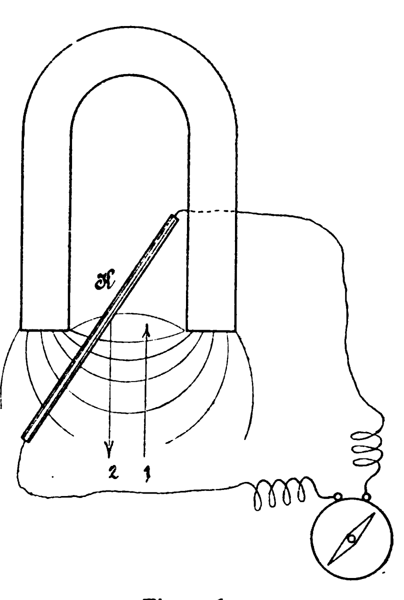


Fig. 126.

wird der Stand des Galvanometers keine Änderung zeigen, wenn wir den Stab von einem Pol zum anderen parallel mit den Kraftlinien bewegen. Wird jedoch der Stab rasch, beispielsweise in der Richtung 1, bewegt, also quer über die Kraftlinienrichtung, so wird das Galvanometer einen bedeutenden Ausschlag zeigen, um nach einigen Schwingungen wieder in die Ruhelage zurückzukehren. Bewegen wir sodann den Stab von oben nach unten, also in der Richtung 2, so schlägt das Galvano-

meter verkehrt aus, ein Beweis, daß beide Male während der Bewegung des Stabes quer durch die Kraftlinien hindurch in demselben ein elektrischer Strom entstanden ist, also daß infolge des Durchschneidens von Kraftlinien in dem Leiter eine elektromotorische Kraft (abgekürzte Schreibweise: *EMK*) wachgerufen wurde, die solange anhält, als die Bewegung durch das magnetische Feld dauert.



Fig. 127.

Man nennt diese Erscheinung die **Magnetoinduktion** und die derart erzeugten Ströme heißen **Induktionsströme.**

Weiters haben wir bei unseren Studien über Elektromagnetismus kennen gelernt, daß mehrere Windungen vom Strome durchflossen, einen größeren Einfluß auf eine Magnetnadel ausüben als ein einziger darüber gespannter Draht. Machen wir daher auch hier wieder den verkehrten Versuch. Wir nehmen das in Fig. 13 abgebildete Solenoid, verbinden dessen Klemmen mit dem in Fig. 71 abgebildeten Taschengalvanoskop und stoßen nun rasch in die Höhlung des ersteren einen Magnetstab; das Galvanometer wird ausschlagen, um sich nach einigen Schwingungen wieder zu beruhigen, ein Zeichen, daß in den Drahtwindungen der Spule ein vorübergehender, momentaner Induktionsstrom entstanden sein muß. Ziehen wir nun rasch den Magnetstab aus der Spule heraus, so wird die Galvanometernadel verkehrt gegen früher ausschlagen, ein Zeichen,

daß ebenfalls wieder ein momentaner Stromstoß erfolgt ist, der jedoch diesmal verkehrt gegen den früheren verlief.

Wir haben uns bereits gewöhnt, ein stromdurchflossenes Solenoid als einen Magnet zu betrachten. Wenn wir uns noch ein zweites Solenoid herstellen, in dessen Höhlung das erstere paßt (Fig. 127) und wenn wir das schwächere von einem Strom erregte Solenoid in das breitere, mit einem Galvanometer verbundene Solenoid rasch einstoßen, wird das Galvanometer einen Ausschlag geben (Fig. 128). Beim Herausziehen der schmäleren Spule erfolgt ein Ausschlag in verkehrter Richtung. In beiden Fällen sind also wieder momentane Induktionsströme entstanden, obzwar diesmal kein Stahlmagnet dabei tätig war. Man bezeichnet in solchen Fällen die Erscheinung als **Elektroinduktion.**

Die induzierende Spule wird die Primärspule genannt, die induzierte heißt die Sekundärspule.

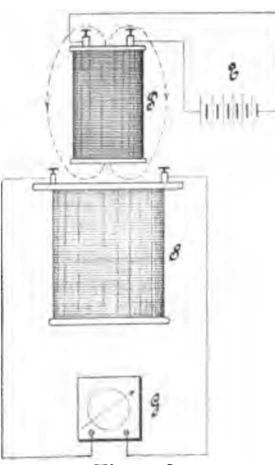


Fig. 128.

Weiters können wir uns durch das Experiment überzeugen, daß es gleichgiltig ist, ob die Spule feststeht und der Magnet sich bewegt oder umgekehrt; es wird immer ein Strom in einer ganz bestimmten Richtung induziert. Dasselbe gilt von den beiden Spulen; bei diesen können wir die Induktionswirkung bedeutend verstärken, wenn wir in die erregte Spule einen weichen Eisenkern bringen; denn wir wissen ja bereits, daß hierdurch das magnetische Feld bedeutend stärker wird.

Beim Versuche mit der Elektroinduktion ist es schließlich gar nicht notwendig, mit den Spulen irgendwie Bewegungen vorzunehmen; es wird ganz dieselbe Wirkung erreicht, wenn man den Strom in der Primärspule entweder ganz unterbricht oder abschwächt und

umgekehrt, wenn man denselben plötzlich einschaltet oder langsamer ansteigen läßt. In allen diesen Fällen wird in der Sekundärspule ein Strom induziert.

Jede Lagenänderung eines Magnets gegen eine geschlossene Stromspule, sowie auch jede Lagenänderung einer Primär- gegen eine Sekundärspule und umgekehrt ruft eine *EMK* hervor, also kurz jede Bewegung eines Leiters und eines magnetischen Feldes gegen einander. Das Schließen und Öffnen des Stromes in der Primärspule ist ja auch nichts anderes, als eine Bewegung des magnetischen Feldes, da beim Schließen Kraftlinien ins Feld eintreten, beim Öffnen aus demselben austreten, also eine Bewegung im Raume ausführen, wodurch die Windungen der Sekundärspule, in der ja, wie vorausgesetzt wurde, die Primärspule steckt, getroffen werden.

Es ist uns in den Induktionserscheinungen, besonders in der Magnetoinduktion ein wirksames Mittel gegeben, starke elektrische Ströme zu erzeugen, natürlich nicht in der oben angeführten, primitiven Weise.

Durch die Bewegung eines Leiters in einem magnetischen Felde wird in dem ersteren ein Strom induziert. Die *EMK* desselben ist abhängig: Von der Stärke des Feldes, also von der Anzahl der pro Flächeneinheit geschnittenen Kraftlinien und von der Geschwindigkeit, mit der sich der Leiter in dem magnetischen Felde bewegt.

Fassen wir den Wicklungssinn einer Spule oder Drahtschleife, ferner die Richtung des magnetischen Feldes, sowie die Bewegungsrichtung des Leiters (Schleife, Spule) ins Auge, so läßt sich über die Richtung des induzierten Stromes eine bestimmte Regel feststellen, welche die Rechtehandregel genannt wird und die lautet: „Halten wir den Zeigefinger der rechten Hand in der Richtung der magnetischen Kraftlinien, den Daumen in der Richtung der Bewegung des Leiters, so gibt der Mittelfinger die Richtung des induzierten Stromes an." Eine noch einfachere Regel von Schmidt-Ulm lautet: „Hält man die Handfläche der rechten Hand den Kraftlinien entgegen (also immer gegen

die Nordpolfläche), den Daumen in die Bewegungsrichtung des Leiters, so zeigen die Fingerspitzen die Richtung des induzierten Stromes an.

Wenn wir also nach dieser Regel den Stromverlauf bei einer hin- und hergehenden Bewegung des Leiters im magnetischen Felde bestimmen, bekommen wir auch einen hin- und herverlaufenden elektrischen Strom, der von Null anfangend, eine gewisse maximale Höhe er-



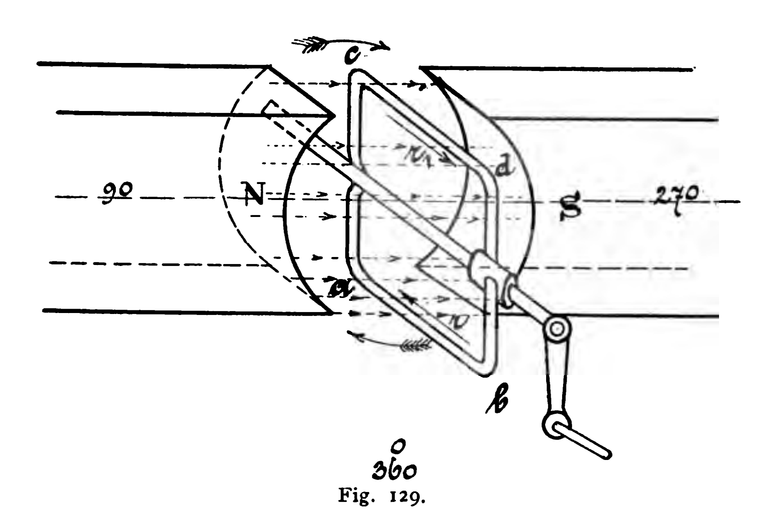


Fig. 129.

reicht, dann wieder bis auf Null sinkt, wieder in der verkehrten Richtung zu einem Maximum herunterfällt und allmählich wieder Null wird.

Eine solche Hin- und Herbewegung für die Erzeugung von Strömen im großen zu verwenden, wäre wegen vieler Schwierigkeiten mechanischer Natur nicht praktisch; viel einfacher ist die drehende Bewegung. Man läßt Draht, beziehungsweise ganze Drahtspulen um ihre Symmetrieachse in einem magnetischen Felde drehen, wodurch ebenfalls Ströme erzeugt, d. i. indu-

ziert werden, die auf irgend eine Art und Weise gesammelt und weiter geleitet werden können.

Um nun über den Induktionsvorgang während der drehenden Bewegung im klaren zu sein, wollen wir vorerst eine einzige Drahtwindung ins Auge fassen (Fig. 129). *N S* sind zwei gegenüberliegende ungleichnamige Pole, in deren zylindrischer Ausbohrung die Drahtschleife *a b c d* zentrisch angebracht ist und ge-

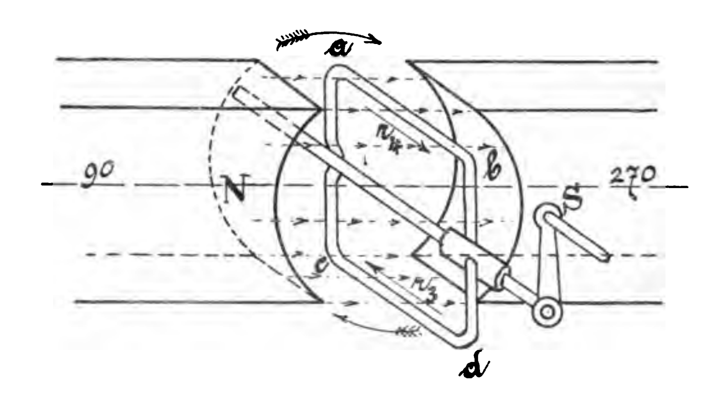


Fig. 130.

dreht werden kann. Betrachten wir vorerst das Drahtstück *a b* ohne Rücksicht auf *c d*. In der gezeichneten Lage wird das Stück, wenn wir mit der Drehung in der angegebenen Pfeilrichtung beginnen, vorerst einen kleinen Teil des Weges mit den Kraftlinien parallel verlaufen, somit wird auch keine *EMK* induziert. Während der Weiterbewegung wird aber der Draht immer mehr in die Kraftlinien hineindringen und seine Bewegung immer mehr senkrecht gegen dieselben sein.

Mithin wird die Stromstärke an Intensität immer mehr zunehmen und in der Stellung bei 90° ihren höchsten Wert erreichen, denn in dieser Position werden die Kraftlinien gerade senkrecht geschnitten, d. h. es entfallen ihrer hier auf die Flächeneinheit am meisten. Von da an bis zur Stellung 180° werden die Kraftlinien immer schiefer geschnitten, die Stromstärke nimmt folglich wieder ab, bis sie in der Stellung bei 180°, also oben, wieder Null wird. Welche Richtung hat dabei der induzierte Strom in dem Stück $a\,b$? Dieselbe bestimmen wir leicht mittels der Rechtehandregel. Halten wir die ausgestreckte rechte flache Hand dem Nordpol entgegen, den Daumen in der Drehrichtung, also hier nach aufwärts, so zeigen die Fingerspitzen **hinter** die Papierebene, also im Sinne des Pfeiles r.

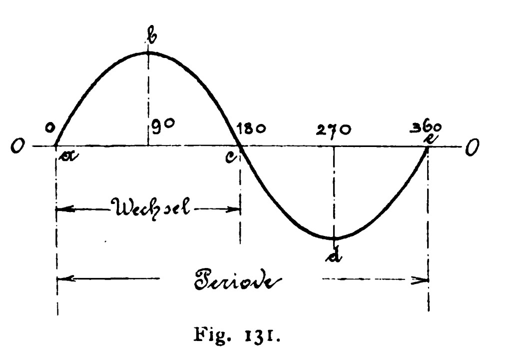


Fig. 131.

Betrachten wir nun das Stück $c\,d$. Es wird sich unter denselben Verhältnissen weiter bewegen, wie das Stück $a\,b$. Der Strom wird ebenfalls von 180° bis 270° zunehmen, dort sein Maximum erreichen und von da bis zur Stellung bei 360° wieder bis auf Null zurückgehen. Suchen wir nach der Rechtehandregel wieder die Stromrichtung in diesem Stück, so zeigen die ausgestreckten Finger **aus** der Papierebene heraus; der Strom fließt also in der Pfeilrichtung r_1. Die beiden induzierten Stücke $a\,b$ und $c\,d$ sind zu einem geschlossenen Kreis verbunden, also die Stücke hintereinander geschaltet, somit auch die in denselben induzierten EMK, und da die Richtungen derselben identisch sind, **summieren** sie sich.

Bisher haben wir die Schleife um 180° weiter gedreht, so daß $a\,b$ an die Stelle von $c\,d$ gekommen ist und

umgekehrt, wie es die Fig. 130 veranschaulicht. Führen wir nun in demselben Sinne die Drehung weiter aus, so wiederholt sich die Induktion in den beiden Leiterstücken wie früher; der Strom in cd fängt von Null an mit der Richtung r_3, sowie auch der Strom in $a\,b$ mit der Richtung r_4, nur mit dem Unterschiede also, daß jetzt die Ströme in den beiden Stücken die **verkehrte** Richtung gegen früher haben.

Das gesetzmäßige Ab- und Zunehmen der *EMK* während einer halben Umdrehung können wir uns graphisch veranschaulichen, u. zw. in der Weise, daß wir auf einer Horizontalen die zurückgelegten Wege und senkrecht auf diese die jeweilig induzierten *EMK* auftragen. Fig. 131 stellt uns die so entstehende Kurve dar.

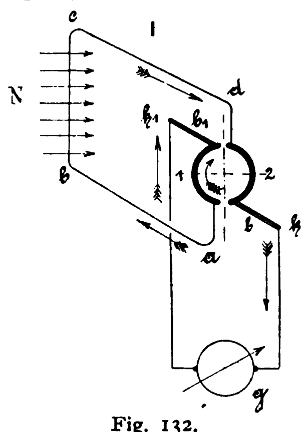


Fig. 132.

Es reihen sich also während einer ganzen Umdrehung ein Wellental und ein Wellenberg aneinander, die miteinander kongruent sind. Man sieht deutlich die Nullpunkte bei 0^0 und 180^0 und die Höchstwerte bei 90^0 und 270^0. Die Dauer der Induktion von einem Nullpunkt zum nächsten wird ein Wechsel und zwei solche benachbarte Wechsel eine Periode genannt.

Der auf diese oben beschriebene Art entstandene und in Fig. 131 graphisch dargestellte Strom heißt ein Wechselstrom, weil er, wie wir aus den Fig. 129 und 130 gesehen haben, nach einer halben Umdrehung seine Richtung wechselt. Verbinden wir die beiden Enden der Schleife mit je einem auf der Achse isolierten Ringe und lassen auf ihnen Metallbürsten schleifen, so können wir den Wechselstrom zum Gebrauch in den sogenannten äußeren Stromkreis leiten.

Befestigt man (Fig. 132) die beiden Enden der Schleife auf Halbringe, die infolge Durchschneidens eines einzigen Ringes entstanden sind, und legt an diese

wieder Metallbürsten an, so kann man bei der Drehung des Systems folgende Beobachtung machen: Die auf bereits bekannte Art und Weise in *a b* und *c d* induzierten *EMK* addieren sich und es tritt der Strom in den Halbring 2, um von diesem durch die Bürste *b*, den äußeren Stromkreis *g* und die Bürste b_1 auf den Halbring 1 und von diesem wieder in die Schleife überzutreten. Der Stromfluß in der eingezeichneten Richtung dauert von 0^0 bis 180^0; im nächsten Augenblicke befindet sich der Halbring 2 unter b_1 und umgekehrt und es beginnt auch wieder der von Null ansteigende Strom seine Richtung zu wechseln (Fig. 133). Nachdem aber auch gleichzeitig die Ringhälften ihre Stellung gewechselt haben, so fließt der Strom im äußeren Stromkreis wieder in derselben Richtung wie früher, trotzdem er jetzt von 180^0 bis 360^0 in den Stücken *a b* und *c d* verkehrt verläuft. Es werden also bei der graphischen Darstellung beide Wechsel einer Umdrehung über der Horizontalen zu stehen kommen (Fig. 134). Da nun dieser so erzeugte Strom im äußeren Stromkreis stets in derselben Richtung verläuft, so heißt er Gleichstrom.

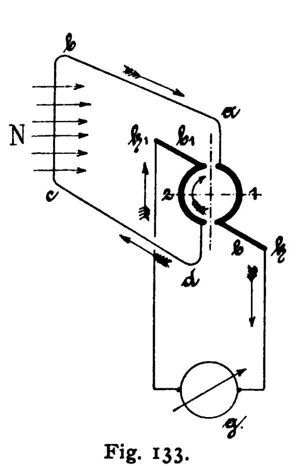


Fig. 133.

Es gibt nun gar keinen Anstand, statt einer einzigen Windung eine ganze Spule innerhalb der Magnete zur Drehung zu bringen, wodurch die Spannung im Vergleiche zu einer Windung ebenso vielmal vergrößert wird, als die Spule Windungen enthält. In Fig. 135 ist die praktische Anordnung einer solchen Spule innerhalb des magnetischen Feldes abgebildet. Es ist dies der bekannte Siemenssche Doppel-T-Anker. Ein Hufeisenmagnet hat Polschuhe, innerhalb deren zentrischer Bohrung ein sogenannter Anker *a* angebracht ist, der aus weichem Eisen bestehend, an zwei gegenüber-

liegenden Stellen Längsnuten hat, in die eine Spule aus dünnem, isoliertem Draht eingelegt ist. Der Eisenanker, welcher bei Dynamomaschinen allgemein Anwendung findet, hat den Zweck, womöglich alle Kraftlinien des magnetischen Feldes aufzunehmen, da selbe im Luftraume einen bedeutend höheren Widerstand erfahren und sich daher bedeutend mehr zerstreuen. Eine ähnliche Anwendung haben wir bei einigen Meßinstrumenten kennen gelernt (System Deprez). Durch Drehung des Ankers werden in den Windungen Ströme induziert, die in Schleifringe gelangen, von welchen sie mittels Bürsten dem äußeren Stromkreis zugeführt werden und je nachdem man zwei getrennte Vollringe oder einen in zwei Halbringe geteilten einzigen Schleifring anwendet, bekommt man einen Wechsel- oder einen Gleichstrom.

Die Fig. 136 führt uns eine solche Maschine für Gleichstrom vor, die all-

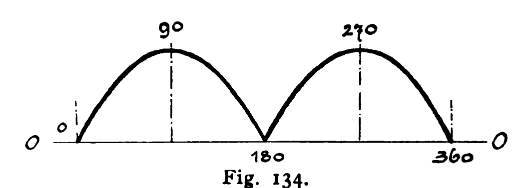


Fig. 134.

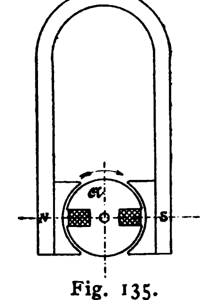


Fig. 135.

gemein unter dem Namen **Induktor** bekannt ist; dieser liefert Ströme von über 100 Volt Spannung und wird deshalb mit Vorliebe als Isolationsprüfer verwendet.

Zwischen den Polschuhen zweier kräftiger, permanenter Magnete wird ein Siemensscher Doppel-T-Anker mittels eines Zahnradvorgeleges und Kurbel mit der Hand in Rotation versetzt. Die ganze Maschine befindet sich in einem tragbaren, polierten Holzkasten eingeschlossen. Wird diese Maschine speziell als Isolationsprüfer benutzt, so ist in dem Kasten gewöhnlich noch ein Klingelwerk oder ein Vertikalgalvanoskop angebracht, das mit dem Induktor und der zu untersuchenden Leitung (Spule, Anker etc.) hintereinander

geschaltet wird. Die Anrufer in den Telephonstationen sind nichts anderes als solche Induktoren.

Für eine größere Stromerzeugung ist ein solcher Induktor nicht verwendbar.

Für Beleuchtung, Kraftübertragung usw. werden die Ströme in einem ganz anderen Induktor erzeugt, welcher zuerst von Pacinotti konstruiert und von Gramme allgemein eingeführt wurde, und nach dem letzteren den Namen Grammescher Ring oder Anker



Fig. 136.

führt. Er besteht aus einem ringförmigen Eisenkern, aufgebaut aus einer großen Anzahl dünner, weicher Eisenbleche, die untereinander durch dünne Papiereinlagen isoliert sind. Um diesen Ring ist ringsherum ein isolierter Kupferdraht gleichmäßig gewickelt, so daß ein ununterbrochener Wicklungskreis entsteht (Fig. 137).

Die Kraftlinien treten vom Nordpol beinahe alle durch den Eisenring zum Südpol und werden in dem engen Luftzwischenraum zwischen Polen und Ring von den Bewicklungsdrähten geschnitten. Durch den Innen-

raum des Ringes gehen keine Kraftlinien; es können daher die inneren Windungen keine solchen schneiden, kommen bei der Induktion vollständig außer Betracht und dienen ausschließlich dazu, den Stromkreis zu schließen. Als wirksame Elemente treten somit nur die äußeren Drahtlagen in den Vordergrund; wir wollen uns daher allein mit diesen befassen.

Nach der uns bekannten Regel werden alle dem Nordpol gegenüberliegenden Drahtelemente so induziert, daß in ihnen der Strom von uns, also in die Papierebene wegfließt; ihre *EMK* summieren sich und der Strom tritt bei der angelegten Bürste k_1 in den äußeren Stromkreis. Die Elemente der rechten Ringhälfte werden alle so induziert, daß der Strom in denselben gegen uns verläuft, also aus der Papierebene heraus; ihre *EMK* summieren sich ebenfalls und treten ebenso durch die Bürste k_1 in den äußeren Stromkreis. Es liegen also zwei parallel geschaltete Stromquellen vor uns, so daß aus den Klemmen ein Strom herauskommt, dessen Spannung diejenige einer Ringhälfte ist, dessen Stromstärke aber das doppelte einer Ringhälfte beträgt (Gesetz der Stromverzweigung).

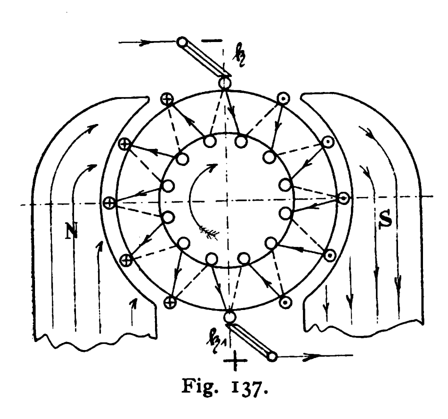


Fig. 137.

Damit haben wir das Wesen einer Dynamomaschine kennen gelernt. Die konstruktive Ausführung eines einfachen Ringankers führt uns Fig. 138 vor. Der aus dünnen, durch Papiereinlagen voneinander isolierten Blechscheiben bestehende Ring wird mittels seitlichen, aus Messing bestehenden Stirnscheiben *S*, die auf einer Welle zentriert sind, fest zusammengepreßt. Warum wird nun der Anker aus dünnen Eisenblechen zusammengesetzt und nicht aus einem massiven Eisenstück?

Wir haben bei der Erläuterung der Induktionswirkungen eines magnetischen Feldes auf einem in demselben bewegten Elektrizitätsleiter kennen gelernt, daß in demselben eine *EMK* wachgerufen wird, sobald die Bewegung senkrecht auf die Kraftlinien geschieht. Eisen gehört auch zu den Elektrizitätsleitern.

Denken wir uns nun aus einem vorläufig massiven Eisenanker eine radiale Lamelle herausgeschnitten, und diese wieder durch Horizontalschnitte in mehrere Schichten geteilt (Fig. 139). Wir erhalten eine Reihe von parallelen

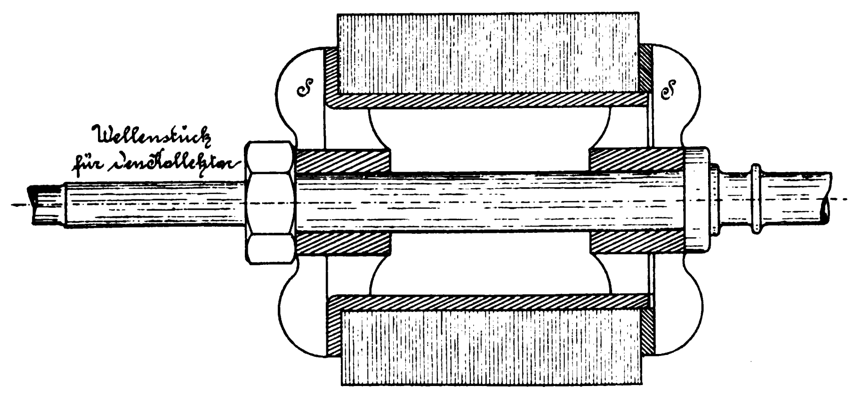


Fig. 138.

Schichten, die wir für identisch mit Drähten ansehen können.

Wird nun dieses System von Drähten in einem magnetischen Felde zur Drehung gebracht, so ist klar, daß die Schichten bei *a* in der Zeiteinheit einen größeren Weg zurücklegen, als die Schichten bei *c*. Es werden in den einzelnen Schichten *EMK* induziert; die *EMK* ist abhängig von der Geschwindigkeit des Leiters, mit der er sich im magnetischen Felde bewegt. Weil nun *a* die größte Umfangsgeschwindigkeit hat, so wird in dieser Schicht auch die größte, in *b* eine etwas kleinere und in *c* die kleinste *EMK* induziert. Es herrscht also zwischen den Schichten *a* bis *c* eine allmählich ab-

nehmende Spannungsdifferenz (in der Figur durch den Keilstrich angedeutet), zufolge deren eine Strömung in der eingezeichneten Pfeilrichtung stattfindet. Mit Rücksicht auf den geringen Widerstand, den dieser große Metallquerschnitt besitzt, wird auch bei einer geringen Spannungsdifferenz ein beträchtlicher Strom fließen, der in kürzester Zeit das massive Stück ungemein stark erwärmt.

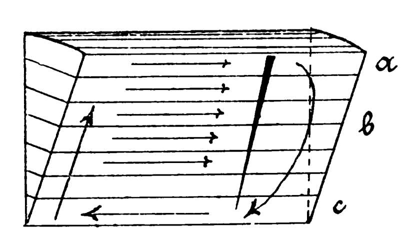


Fig. 139.

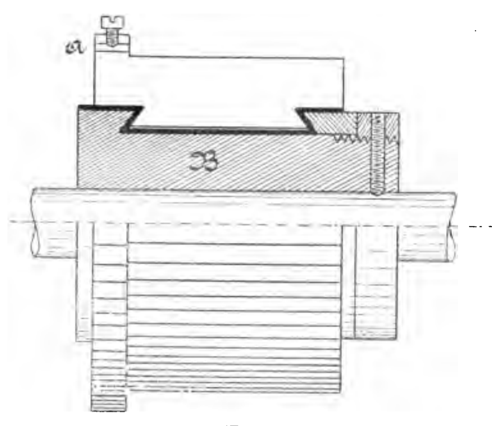


Fig. 140.

Diese im Ankereisen entstehenden unerwünschten Ströme heißen Wirbelströme oder auch Foucauldsche Ströme. Um dieselben auf das möglichst geringste Maß zu bringen, werden ihnen Hindernisse in den Weg gestellt, und zwar dadurch, daß der Anker aus sehr dünnen Blechen ($^1/_2$ *mm*) hergestellt wird, die voneinander durch Papierzwischenlagen isoliert sind.

Um den Luftzwischenraum zwischen Ankereisen und Polschuhen möglichst klein zu machen, wird heutzutage die Ringbewicklung in Nuten eingelegt, welche in dem Ankereisen eingehobelt sind (siehe Fig. 142).

Der induzierte Strom der einzelnen Windungsgruppen oder Spulen gelangt zu einem sogenannten Stromsammler oder K o l l e k t o r, welcher sich auf der Welle neben dem Anker befindet. Derselbe ist in Fig. 140

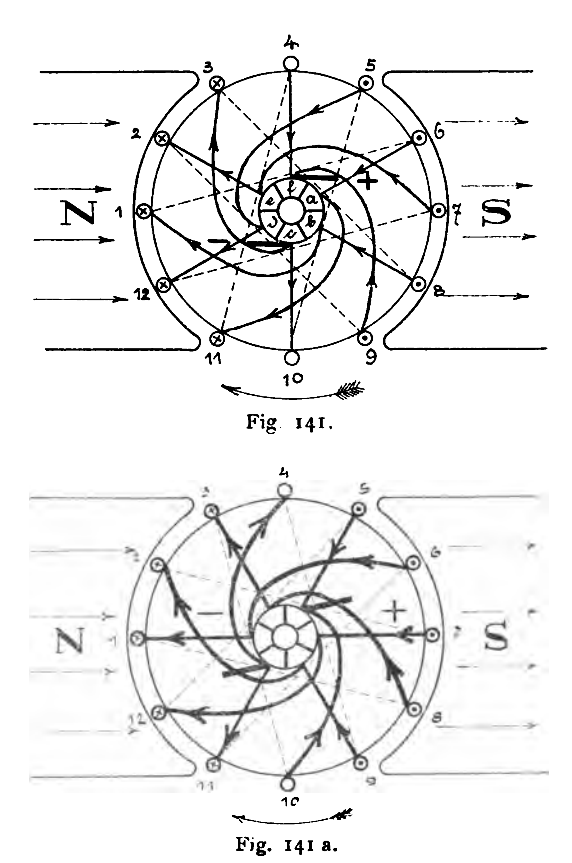


Fig. 141.

Fig. 141 a.

abgebildet und besteht aus Messing- oder Kupfersegmenten, die auf einer Büchse *B* radial angeordnet, sowohl gegen diese, als wie gegeneinander isoliert sind. Jedes Segment trägt einen Ansatz *a*, in dem je das

Ende der einen mit dem Anfang der nächsten Spule verschraubt oder eingelötet ist. Die Segmente sind keilförmig.

Wie wir schon bemerkt haben, ist der innere Teil der Windungen beim Ringinduktor für die Induktion nutzlos. Es wurde daher von Hefner-Alteneck ein sogenannter Trommelanker konstruiert, bei dem die inneren Windungen entfallen. Die Wicklung ist knäuelartig ausgeführt, bloß auf der Oberfläche des Ankereisens; mit Zuhilfenahme der Fig. 141, die schematisch eine solche Wicklung darstellt, können wir dies näher verfolgen. Fassen wir beispielsweise den Draht 1 ins Auge; derselbe wird in dem gezeichneten Augenblicke am stärksten induziert. Wenn sich die elektromotorischen Kräfte gegenseitig nicht stören sollen, muß er mit einem gegenüberliegenden, in der anderen Hälfte induziertem Drahtelemente verbunden werden, denn es handelt sich bei dieser Wicklung um eine ähnliche Schleife, wie sie in Fig. 129 oder Fig. 132 behandelt wurde. Fangen wir bei Draht 1 an; der in demselben induzierte Strom fließt in die Papierebene. Von diesem müssen wir zu einem Drahte in der anderen Hälfte über die hintere Stirnfläche gehen. Es wäre dies der Draht 7; von 1 zu 7 sind sechs „Schritte"; 7 würden wir von rückwärts nach vorne wickeln, um von da über die vordere Stirnfläche an den Kollektor anschließend wieder - vor den Nordpol zu gelangen. Zu diesem Behufe hätten wir wieder 6 Schritte in der Drehrichtung zu machen und würden wieder zu 1 gelangen; von da wieder zu 7 und so ginge es fortwährend hin und her, ohne imstande zu sein, eine fortlaufende Ankerwicklung zu erhalten. Sobald wir aber den „Wickelschritt" um eins vermindern, gelangen wir sofort zum Ziel. Es darf also der Wickelschritt nicht der Hälfte sämtlicher Drähte, beziehungsweise Spulen gleichgemacht werden, sondern ist um einen Schritt zu vermindern.

Gehen wir also mit dem Strome in dem Drahte 1 nach rückwärts und über die hintere Stirnfläche fünf Schritte weiter, so erreichen wir den Draht 6. In diesem wird eine *EMK* mit der Richtung gegen uns induziert,

somit summieren sich die *EMK* von 1 und 6. Nun gehen wir über die vordere Stirnfläche, die Kollektorlamelle *a* berührend, im Drehungssinn wieder 5 Schritte weiter; wir kommen nach 11. Dort wird eine *EMK* mit der Richtung von uns weg induziert; wir kommen bei 11 von der Lamelle *a*, beziehungsweise dem Drahte 6 mit einer ebenso gerichteten *EMK* an, also wieder eine Summierung. In dieser Weise geht es nun einmal über die hintere, einmal wieder über die vordere Stirnfläche herum, immer um 5 Schritte weiter, bis wir wieder von vorne her bei 1 ankommen.

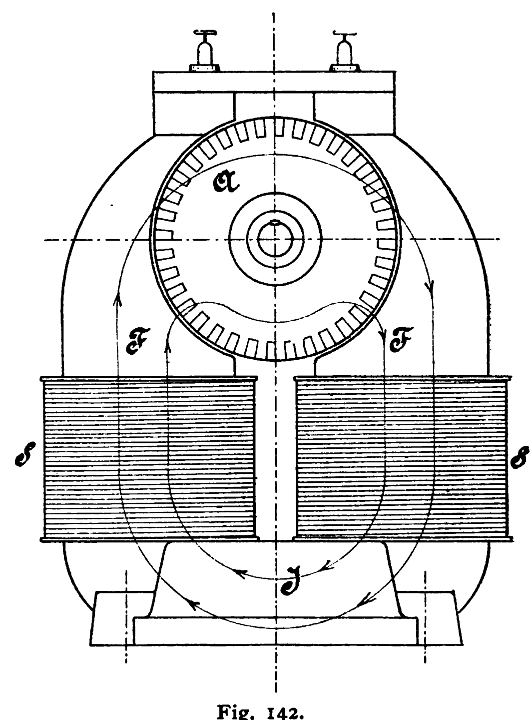


Fig. 142.

Aus dem Wicklungsschema der Fig. 141 ersehen wir ferner, daß unsere Trommel einen Kollektor mit 6 Lamellen hat, welche Zahl gleich der halben Drahtzahl, resp. Spulenzahl ist. Bei der + Bürste tritt der Strom in den äußeren Stromkreis, bei der — Bürste kommt er aus demselben wieder in die Windungen zurück.

Ebenso wie der Wickelschritt in der Drehrichtung gemacht wurde, so kann er auch derselben entgegen gemacht werden (Fig. 141 a).

Der Anker dreht sich also mit den auf ihn aufgewickelten Drähten in einem kräftigen magnetischen Felde, das von gegeneinander liegenden, ungleichnamigen Polen erzeugt wird; dieselben sind zu Polschuhen ausgebildet, welche zylindrisch ausgebohrt sind. Da die induzierte *EMK* von der Anzahl Kraftlinien pro 1 cm^2 abhängig ist (bei gleichbleibender Tourenzahl), so wird ein möglichst kräftiges Feld erzeugt. Permanente Stahlmagnete haben bekanntlich bei weitem nicht ein so kräftiges Feld wie Elektromagnete; es werden daher im Dynamomaschinenbau ausschließlich diese angewendet.

Fig. 142 führt uns die Anordnung einer zweipoligen Gleichstromdynamomaschine, einer sogenannten Kapptype, vor. *a* ist der genutete Anker, der sich zwischen den ausgebohrten Magneten *F* drehen kann. Die Welle des Ankers ist in Lagerböcken gelagert, welche mit der Grundplatte der Magnete fest verschraubt sind. Die Feldmagnete sind aus Gußeisen oder aus Stahlguß und bilden mit dem Joch *J* (sowie auch mit der Grundplatte) ein ununterbrochenes Hufeisen, da sie aus einem Stück gegossen sind. Die Kraftlinien verlaufen, wenn die Magnete mittels der Spulen *S* erregt werden, in der eingezeichneten Weise durch die Magnetschenkel, das Joch und durch den Anker.

Den Strom zur Erregung der Magnete könnte man einer anderen Stromquelle, beispielsweise einer Akkumulatorenbatterie entnehmen; doch kommt dies nicht mehr in Anwendung, seit Werner Siemens im Jahre 1866 auf den Gedanken der Selbsterregung verfiel.

Um uns das Wesen des Magnetismus geläufiger zu machen, haben wir uns in dem diesbezüglichen Kapitel vorgestellt, daß jedes kleinste Teilchen eines Magnetes, also jedes Molekül selbst ein Magnetchen für sich bildet und daß alle diese kleinen Magnetchen in einem Magnetstab so hintereinander angeordnet sind, daß alle Nordpole nach der einen, alle Südpole nach der anderen Seite gerichtet sind, wodurch in der Gesamtsumme ein einziger großer Magnet entsteht; ferner daß in einem weichen, unmagnetischen Eisenstücke auch schon die Magnetchen von Haus aus vorhanden sind,

daß sie jedoch regellos durcheinander liegen, mit ihren Polen nach allen möglichen Richtungen hin zeigend, weshalb sich ihre Wirkung nach außen hin nicht kundgeben kann. Von einem sie umfließenden elektrischen Strom werden aber alle diese Magnetchen, wie uns bereits bekannt, gerichtet und weil sich dann die Wirkung ihrer Pole summiert, bilden sie in ihrer Gesamtsumme einen großen nach außen hin wirkenden Magnet. Sobald aber der elektrische Strom unterbrochen wird, kehren die molekularen Magnetchen wieder beinahe, aber doch nicht ganz, in ihre frühere Lage zurück, und hierin liegt der Kern des früher erwähnten Siemensschen Gedankens: Es bleibt in einem, einmal stark magnetisch gewesenen, weichen Eisenstück immer eine Spur von Magnetismus zurück, welche Eigenschaft als Remanenz bezeichnet wird.

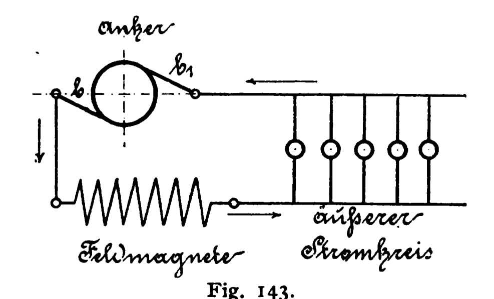


Fig. 143.

Fig. 144.

Wenn also nach der ersten Fertigstellung einer Gleichstrommaschine ihre Feldmagnete im richtigen Sinne mit Zuhilfenahme einer fremden Stromquelle kurze Zeit erregt werden, so bleiben sie, wenn auch äußerst schwach, doch magnetisch, so daß immer durch den magnetischen Kreis (Schenkel, Joch, Luftzwischenräume

und Anker) wenigstens einige Kraftlinien verlaufen. Wird nun die Maschine angelassen, so wird infolge des Schneidens dieser wenigen Kraftlinien in den Windungen des Ankers ein schwacher Strom induziert; geht dieser im gehörigen Sinne durch die Windungen der Feldmagnete, so wird der Magnetismus derselben verstärkt, was zur Folge hat, daß nun mehr Kraftlinien durch den Anker gehen, die sofort wieder einen stärkeren Strom in seinen Windungen induzieren. Dieser verstärkt abermals den Magnetismus der Feldmagnete, und so wiederholt sich das Spiel in rascher Aufeinanderfolge solange, bis die Maschine auf ihre normale, der Tourenzahl entsprechende Spannung kommt.

Je nachdem man nun den ganzen Strom oder nur einen Teil desselben durch die Magnetspulen hindurchgehen läßt, unterscheidet man **Hauptstromdynamomaschinen oder Serienmaschinen und Nebenschluß- oder Derivationsmaschinen.**

Fig. 143 führt uns das Schaltungsschema einer Hauptstromdynamomaschine vor; der ganze Strom geht von der Bürste *b* in die Feldmagnetspulen und von diesen direkt in den äußeren Stromkreis oder den Nutzstromkreis, um von da in die Bürste *b* zurückzukehren. Die Feldmagnetwindungen müssen daher, da der ganze Strom durch dieselben durchgeht, aus starkem Draht bestehen.

In der Fig. 144 finden wir das Schaltungsschema einer Nebenschlußmaschine. Von der Bürste *b* geht in die vielen, jedoch schwachen Windungen der Feldmagnetspulen nur ein geringer Teil des Stromes, während der weitaus größte Teil desselben direkt von den Bürsten weg in den äußeren Stromkreis fließt.

Betrachten wir nun die Wirkungsweise dieser beiden Maschinen.

Es sei vorerst bei der Hauptstrommaschine (auch Hauptschlußmaschine genannt) der äußere Stromkreis unterbrochen. Dann fließt kein Strom durch die Feldmagnete und daher um so weniger in und aus dem Anker heraus. Die Maschine hat also bei geöffnetem Stromkreis keine Spannung; um diese und damit einen

Strom zu bekommen, muß der äußere Stromkreis geschlossen sein.

Ist unter sonst gleichen Umständen der äußere Widerstand groß, so fließt nur wenig Strom und somit wird auch die Spannung der Maschine nur eine geringe sein. Wird jedoch der äußere Widerstand verkleinert, beispielsweise durch Einschaltung von parallel geschalteten Glühlampen (Gesetz der Stromverzweigung), so wird die Stromstärke anwachsen, somit auch die Erregung der Feldmagnete zunehmen und daher wird die *EMK* der Maschine steigen. Behufs Einhaltung gleicher Spannung bei den verschiedenen Belastungen muß daher in den äußeren Stromkreis ein regulierbarer Widerstand (Rheostat) eingeschaltet werden.

Wird die Nebenschlußmaschine bei geöffnetem äußeren Stromkreis angelassen, so fließt durch die geschlossene Nebenschlußwicklung bereits ein Strom, und die Maschine bekommt ihre normalmäßige Spannung. Schaltet man nun Verbrauchsapparate in den äußeren Stromkreis ein, so fließt der Strom, da er in demselben weniger Widerstand vorfindet, größtenteils dorthin, wodurch der Nebenschlußstrom kleiner wird. Die Folge davon ist eine schwächere Erregung der Feldmagnete und ein Sinken der Spannung im Anker; somit ein Gegensatz zu der Hauptschlußmaschine. Um also die Spannung beim Einschalten von Verbrauchsapparaten immer auf derselben Höhe, sagen wir beispielsweise auf 110 Volt zu erhalten, ist der Nebenschluß so eingerichtet, daß beim Anlassen z. B. einer zweipferdigen Dynamo, wenn im äußeren Stromkreis noch kein Strom verbraucht wird, in den Magnetschenkeln eine Stromstärke von 0·28 Ampère genügt, um das Feld so stark zu erregen, daß im Anker, respektive zwischen den Maschinenklemmen, eine Spannung von 110 Volt erhalten wird; die Differenz wird im Nebenschluß durch das Einschalten eines Rheostats *w* (Fig. 145) vernichtet. Wird der äußere Stromkreis belastet, so sinkt die Maschinenspannung, wie schon gesagt, deshalb, weil jetzt in die Schenkel weniger Strom geht. Es wird deshalb der beim Anlassen mit vollem Widerstand eingeschaltete Nebenschluß-Rheostat nun-

mehr soweit ausgeschaltet, bis die Maschine wieder ihre normale Spannung bekommt. Die hier in Rede stehende Nebenschlußmaschine ist für 110 Volt und 10 Ampère gebaut. Wird sie vollständig belastet, so muß der Rheostat ganz ausgeschaltet werden und es verbrauchen dann die Feldmagnete, damit die Maschinenspannung auf 110 Volt erhalten wird, rund 2 Ampère zu ihrer Erregung. Da die Magnete im Nebenschluß zum Hauptstrom sind, so muß die Maschine im ganzen $10 + 2 = 12$ Ampère liefern. Der im Nebenschluß verwendete Strom ist für den äußeren Stromkreis verloren.

Aus dem bisher Gesagten ersehen wir demnach, daß im Falle eines Kurzschlusses bei einer Hauptstrom-

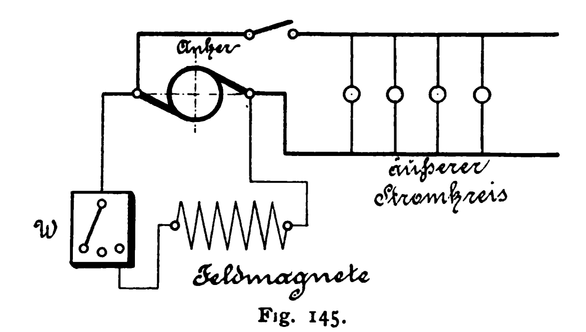


Fig. 145.

maschine im äußeren Stromkreis die größte Stromstärke entsteht, die, wie wir bereits wissen, für den guten Bestand der Wicklung höchst gefährlich ist.

Bei der Nebenschlußmaschine ist von den Bürsten an eine regelrechte Stromverzweigung. Da der Widerstand des Magnetstromkreises w viel größer ist, als derjenige des äußeren Kreises W, so geht in die Magnetspulen nur ein geringer Teil des Stromes. Wird demnach der Widerstand im äußeren Stromkreise vergrößert, so steigt die Stromstärke i in den Magnetspulen, somit auch die Feldstärke und daher auch die Spannung im Anker. Wird der äußere Stromkreis ganz unterbrochen, so erreicht i in den Magnetspulen den höchsten Wert, daher die Maschine eine große Spannung.

Wird ein bestimmter äußerer Widerstand verringert, beispielsweise durch Einschaltung von Glühlampen, so sinkt die Nebenschluß-Stromstärke i und somit auch die Klemmenspannung der Maschine; man muß daher durch Ausschaltung des Nebenschlußwiderstandes die Erregung soweit steigern, bis die Maschine wieder ihre Spannung erhält.

Ein Kurzschluß ist demnach für eine Nebenschlußmaschine ungefährlich.

Die Spannung einer Nebenschlußmaschine läßt sich ungefähr bis auf ein Drittel regulieren; von da an wird

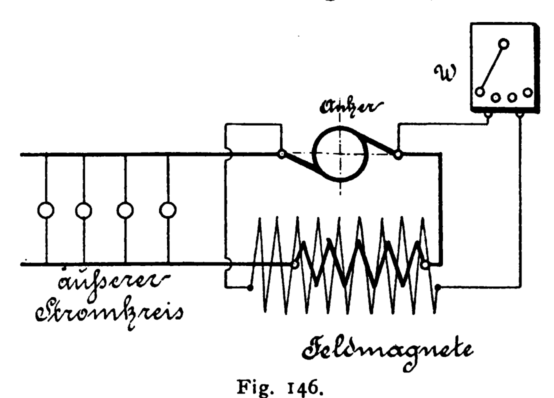


Fig. 146.

sie labil, d. h. die Maschine hat Neigung, ihre Spannung in diesem Stadium überhaupt zu verlieren.

Eine Kombination von beiden der angeführten Maschinen ist die sogenannte Kompound- oder Verbunddynamomaschine. Die Magnetschenkel derselben haben zweierlei Wicklung: Eine Nebenschlußwicklung, bestehend aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes und eine Hauptschlußwicklung, bestehend aus einigen wenigen Windungen eines dicken Drahtes. In beiden Windungen umkreist der Strom gleichzeitig die Magnetschenkel (Fig. 146). Wird im äußeren Stromkreis der Widerstand kleiner, so wird der Nebenschlußstromkeis i ebenfalls kleiner, was ein Sinken der Spannung zur Folge

hat. Gleichzeitig geht aber durch die dicken Windungen sofort ein stärkerer Strom, weil ja der äußere Stromkreis einen größeren Strom aufnimmt, so daß das Feld wieder stärker erregt wird. Ist die Anzahl der dicken und dünnen Windungen im richtigen Verhältnis gewählt, so reguliert sich die Maschinenspannung in gewissen Grenzen selbst. Die Kompoundmaschinen sind daher für Beleuchtungszwecke, wo viele Glühlampen ein- und ausgeschaltet werden, sehr gut verwendbar; wir Bergleute verwenden dieselbe heutzutage nicht mehr. Allgemein wird in Zentralen die Nebenschlußmaschine verwendet.

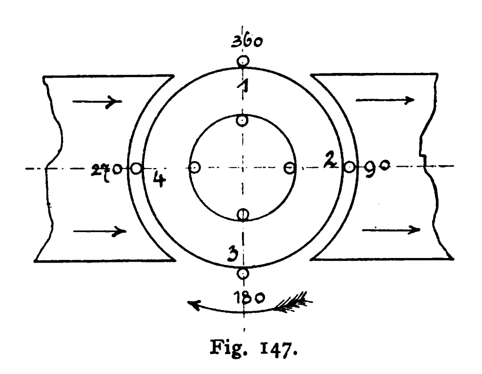


Fig. 147.

Von allen diesen Maschinen bekommen wir bei Verwendung eines Kollektors einen Gleichstrom. Würde man den Anker mit nur einer einzigen Spule versehen, wie es schematisch in Fig. 132 und 133 angegeben ist, so bekäme man einen Gleichstrom, wie er im Diagramm Fig. 134 bildlich dargestellt erscheint.

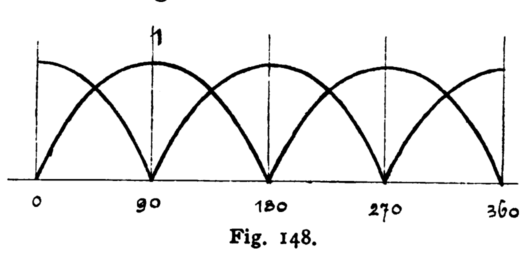


Fig. 148.

Bei einer gewissen Stellung der Spule im magnetischen Felde ist die Stromstärke Null. Man würde also im äußeren Stromkreis rasch aufeinanderfolgende Stromstöße bekommen, und eine eingeschaltete Glühlampe würde stark flackern. Es werden daher auf einem Ringe (Anker) mehrere solche Spulen hintereinander angebracht,

so daß immer wenigstens eine derselben am stärksten induziert wird.

In Fig. 147 ist ein Ring mit vier Windungen (Spulen) sichtbar, wovon je zwei diametral gegeneinander stehen. Wenn die Spule 1 den Nullpunkt passiert, ist ihre Stromstärke gleich Null; die Spule 2 hingegen hat in diesem Augenblicke die größte Stromstärke erreicht und deckt

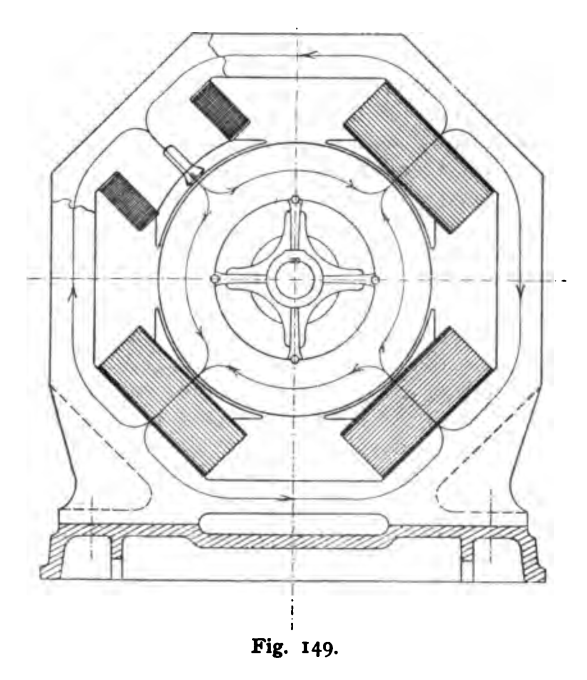


Fig. 149.

daher die Nullstellung der Spule 1 (siehe Fig. 148). Die Stromwellen der Spulen 3 und 4 decken sich mit jenen von 1 und 2. Je mehr solcher Spulen nun nacheinander in das magnetische Feld eintreten, um so mehr werden die Lücken gedeckt und desto mehr nähert sich der resultierende Gleichstrom, der also eigentlich aus vielen hinter- und übereinander verlaufenden Stromwellen besteht, praktisch der Gleichförmigkeit.

Nach diesem Grundprinzip der Induktion und der Selbsterregung sind nun die verschiedenartigsten Maschinentypen gemacht worden; dieselben zu beschreiben, ist nicht die Aufgabe dieser Zeilen. Erwähnt mag nur werden, daß die Dynamomaschinen für Gleichstrom eingeteilt werden in zweipolige, Fig. 142, vierpolige, Fig. 149 und mehrpolige überhaupt. Bei vier- und mehrpoligen Maschinen sind die Pole so angeordnet, daß immer zwei ungleichnamige, unmittelbar nebeneinander sind; die Kraftlinien verlaufen dann wie in Fig. 149 eingezeichnet ist. Weil bei einer vierpoligen Maschine beispielsweise vier neutrale Punkte sind, wo also die Drähte nicht induziert werden, so müssen zur Stromsammlung auch vier Bürsten angelegt werden, wovon je zwei gegenüberliegende, überhaupt solche mit gleichem Vorzeichen, miteinander verbunden werden. Die Zuleitung zum äußeren Stromkreis erfolgt wieder nur von zwei Leitungen.

Der in den Ankerspulen induzierte Strom wird also, wie wir gesehen haben, von den einzelnen Lamellen des Kollektors durch an ihnen schleifende Bürsten abgenommen. Diese bestehen entweder aus sehr dünnen, eigens für diesen Zweck präparierten, aneinander gepreßten und an einem Ende verlöteten Blechstreifen, oder aus einem Kupfergazegewebe, das mittels eingezogener Metallröhrchen und Seidennähten versteift wird, und schließlich aus verschiedenartig präparierten Kohlen, sogenannten Kohlenbürsten.

Das eine oder das andere System dieser Bürsten ist bei einer bestimmten Maschine schon immer von der liefernden Fabrik gegeben, und gewiß hat jedes solidere Etablissement durch die zahlreichen Lieferungen schon soviel Erfahrung in der richtigen Wahl des einen oder anderen Bürstentypus erlangt, daß man demselben mit Vertrauen entgegensehen kann. Ergeben sich aber in dieser Beziehung trotzdem Anstände, so dürfte der Grund vielmehr in einer unsachgemäßen Behandlung seitens des Wärters zu suchen sein.

Die Bürsten werden in ihrer Lage von sogenannten Bürstenhaltern getragen und diese wieder von einer

gemeinschaftlichen Bürstenbrücke, die auf verschiedene Weise mit dem Maschinengestell verbunden wird; sowohl Brücke als Halter sind stellbar. Selbstverständlich müssen die Bürstenhalter gegen die Brücke sehr gut isoliert sein. Von den ersteren führen entsprechend starke Kabel den gesammelten Strom in den äußeren Stromkreis.

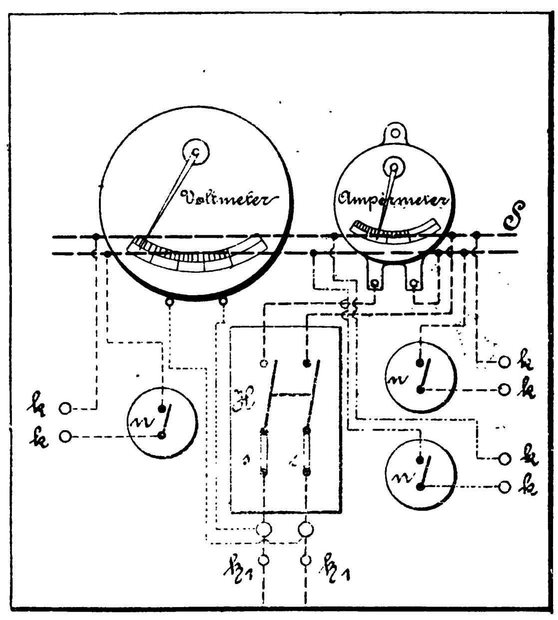


Fig. 150.

Jede Maschine ist für eine bestimmte Spannung und für eine bestimmte maximale Stromstärke gebaut. Um nun diese beiden Größen während des Betriebes beobachten und kontrollieren zu können, muß bei einer jeden derartigen Maschine in dem äußeren Stromkreis wenigstens ein Volt- und ein Ampèremeter eingeschaltet sein. Außerdem ist es notwendig, bei der Versorgung der einzelnen Betriebe mit Strom, beispielsweise der ein-

zelnen Maschinenhäuser für Beleuchtung, Aufbereitung, Zirkularsäge etc., die ja gewöhnlich von der Hauptleitung



Fig. 151.

parallel abzweigen, in der Zentrale die nötigen Schalter, Abschmelzsicherungen usw. anzubringen. Je mehr solcher

Abzweigungen gemacht werden, desto notwendiger ist eine gute Übersicht; dies wird erreicht durch die Anbringung eines entsprechend eingerichteten **Schaltbrettes (Schalttafel)** in der Nähe der Dynamomaschine. Auf einem solchen Brett, das bei modernen Maschinenanlagen meistens aus Marmor hergestellt ist, sind die nötigen Meßinstrumente, Regulierwiderstände, Schalter für die einzelnen Abzweigungen und Abschmelzsicherungen angebracht. Fig. 150 führt uns das Schaltungsschema eines solchen einfachen Schaltbrettes vor, wie solches der Verfasser für eine kleine Nebenschlußdynamo für 110 Volt und 12 Ampère selbst angefertigt hat. Auf einem polierten Brette sind: ein Volt- und ein Ampèremeter, ein auf einem separaten Grundbrette angebrachter Hauptschalter (Maschinenschalter) *h* mit Abschmelzsicherungen *s* und drei Schalter *n* für die Abzweigungen zum äußeren Stromkreis. Rückwärts auf dem Brette sind vorerst zwei sogenannte Sammelschienen *S*, zu welchen der Strom durch den Schalter *h* gelangt. Von den Schienen führen Abzweigungen durch die Schalter *n* zu den Klemmen *k*, an welche die äußeren Zweigstromkreise angeschlossen werden können. Die Fig. 151 führt uns die Ansicht dieses Brettes vor. Der Regulierwiderstand der Nebenschlußmaschine ist unterhalb des Brettes mit diesem gemeinschaftlich auf der Wand angebracht. Er besteht aus Nickelinspiralen, deren Kontakte und Kurbel auf einer Marmorplatte angebracht sind.

Der Hauptstrom gelangt von den Maschinenklemmen zu den Schaltbrettklemmen k_1; ist der Hauptschalter offen, so kann der Strom nicht weiter, in die Sammelschienen aber immer, sobald einmal die Maschine angelassen wird, durch die feinpunktierten Drähte zum Voltmeter, so daß man ohne Rücksicht auf den äußeren Stromkreis die Maschine sofort beim Anlassen auf ihre richtige Spannung regulieren kann.

Das ist, wie gesagt, der allereinfachste Fall eines Schaltbrettes; für große Maschinen und vielverzweigte Betriebe fallen derartige Schaltbretter auch viel größer aus, so daß sie im Maschinenhaus oft den größten Teil einer Wand einnehmen.

In die detaillierte Beschreibung einiger solcher Schalttafeln einzugehen, wäre hier nicht der Platz. Die Grundbegriffe über Maschinen und Schalttafeln, sowie deren Zweck sind hiermit gegeben, und es mag als Übung dienen, eine derartige Anlage im Detail in der Weise durchzugehen, daß man bei der Dynamomaschine anfangend, die Einrichtung derselben studiert, um sich dann selbständig ein Schaltungsschema derselben zu entwerfen. Dann verfolge man den Strom zur Schalttafel und entwickle sich Schritt für Schritt ein übersichtliches Schema derselben. Nur nichts oberflächlich durchgehen! Überall, wo man im Zweifel ist, suche man an der Hand selbst angefertigter Skizzen eine befriedigende Erklärung zu finden.

Wechselstrommaschinen.

Bei unseren Betrachtungen über den Gleichstrom haben wir es eigentlich schon mit dem Wechselstrom zu tun gehabt, noch bevor wir uns den Begriff eines Gleichstromes zurecht legten. Der Verlauf eines Wechselstromes ist in Fig. 127 bildlich dargestellt worden. Den augenblicklichen Schwingungszustand des Stromes nennt man eine **Phase.** Ziehen wir zwei Wechselströme in Betracht, die in einer gemeinsamen Leitung verlaufen, so können dieselben genau gleiche Periode haben und gleiche Spannung und Stärke besitzen, aber in der Reihenfolge gegeneinander verschoben sein, so daß sich Wellenberge und Wellentäler nicht decken; wir werden uns an einer anderen Stelle eingehender mit solchen Strömen befassen.

Es ändert also der Strom fortwährend seine Richtung, d. h. er wird, eine bestimmte Drahtleitung im äußeren Felde ins Auge fassend, bald +, bald wieder —. Sind nun dieser Richtungsänderungen oder Wechsel nur wenige pro Sekunde vorhanden, und spannt man einen von diesem Strome durchflossenen Leiter auf bekannte Art und Weise über einer freischwingenden Magnetnadel, so wird sie bald links, bald rechts abgelenkt, d. h. sie wird

vibrieren. Ist die Wechselzahl größer pro Sekunde, so vermag die Nadel den Ablenkungen nicht mehr zu folgen und bleibt daher ganz ruhig stehen, als ob kein Strom über ihr fließen möchte. Führt man den Strom in die Solenoide eines Hufeisenmagnetes, so wird derselbe seine Pole ebenso oft wechseln, als der Wechselstrom Wechsel hat; es wird also ein Polende bald nord-, bald südmagnetisch sein. Trotzdem zieht der Hufeisenmagnet seinen Anker an und hält ihn fest, weil die Polwechsel so rasch aufeinanderfolgen, daß dem Anker die Zeit benommen wird, herunter zu fallen, wobei auch die Remanenz eine Rolle mitspielt.

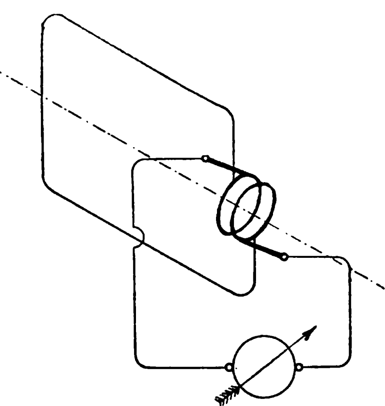


Fig. 152.

Der in den Drahtwindungen einer Drahtschleife oder eines Ankers induzierte Strom wird von Schleifringen aufgenommen und von diesen mittels Bürsten dem äußeren Stromkreise zugeführt; jedes Drahtende geht zu einem separaten Schleifring (Fig. 152).

Nehmen wir nun an, die Schleife oder Spule mache 300 Umdrehungen pro Minute, so sind das in der Sekunde 5 Umdrehungen; also macht der induzierte Strom 10 Polwechsel oder 5 Perioden pro Sekunde. Schaltet man in einen solchen Stromkreis eine Glühlampe, so wird dieselbe stark flackern, weil eben die Stromintensität zehnmal in der Sekunde durch die Nullage geht. Steigert man die Tourenzahl soweit, daß die Wechselzahl zirka 100, also die Periodenzahl 50 beträgt, so wird man kein Flackern des Lichtes mehr wahrnehmen, denn bei einem so raschen Richtungswechsel des Stromes hat der glühende Kohlenfaden nicht die Zeit, von einem Wechsel zum anderen merklich in der Lichtstärke zu sinken.

Wechselstrom kann man von jedem Grammschen Ringe bekommen, wenn man an Stelle des Kollektors zwei einfache, nebeneinander befindliche, voneinander isolierte Schleifringe verwendet, wobei der eine mit dem einen Ende, der andere mit dem zweiten Ende der kontinuierlichen Ringwicklung verbunden wird.

Die Feldmagnete müssen bei Wechselstrommaschinen stets von einer fremden Gleichstromquelle erregt werden.

Bei Gleichstrommaschinen spielt der Kollektor eine äußerst wichtige Rolle. Wenn die Bürsten auf demselben nicht die richtige Stellung haben, so entsteht eine starke Funkenbildung. Eben dieser Kollektor ist es, der besonders bei größeren Maschinen mit höherer Spannung viele Anstände verursacht, und man entscheidet sich daher manchmal lieber für einen Wechselstrom.

Um auch die an und für sich schon einfachen Schleifringe und Bürsten bei Wechselstromgeneratoren überhaupt zu vermeiden, wird der Anker derselben ruhend, die das Magnetfeld erzeugenden Magnete dagegen drehend gemacht, so daß man den Strom dann direkt mittels Leitungen abzunehmen vermag. Das Ankereisen (die dünnen Bleche) sind in diesem Falle von einem Gehäuse eingeschlossen und die Wicklung ist fast ausschließlich als Trommelwicklung ausgeführt.

Betrachten wir die Fig. 153. In einem Grammeschen Ringe können Feldmagnete zur Rotation gebracht werden, wobei also die den Polen gerade gegenüber befindlichen inneren Drahtwindungen von Kraftlinien geschnitten werden. Nach der Rechtehandregel werden also in denjenigen Windungen, welche gerade den Nordpolen gegenüberliegen, auf uns zufließende Ströme, in den in diesem Augenblicke den Südpolen gegenüberliegenden Windungen dagegen von uns abfließende Ströme induziert. Verbindet man die gleichgerichteten Ströme miteinander, so treten sie beispielsweise bei *a* in das Außenfeld, um bei *b* wieder in die Wicklung zurückzukehren.

Hat sich nun das Magnetsystem um die Bogenentfernung zweier benachbarter Pole weiter bewegt,

also in unserem Falle um 90°, so sind dort, wo früher die Südpole waren, nunmehr die Nordpole und umgekehrt; es werden also in den feststehenden, ihnen gerade gegenüberliegenden Drähten auch Ströme in der verkehrten Richtung gegen früher induziert (Fig. 154). Der Gleichstrom zur Erregung der Feldmagnete wird denselben mittels zweier Schleifringe zugeführt; die Magnetspulen sind hintereinander geschaltet.

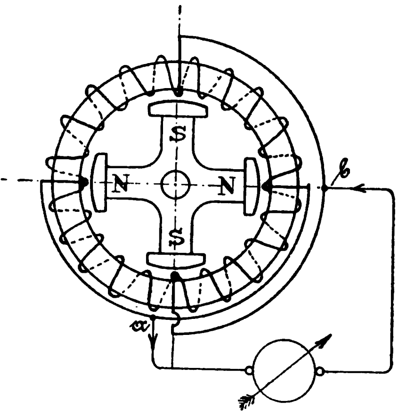


Fig. 153.

Die Anzahl der rotierenden Feldmagnete ist je nach der Größe der Maschine und nach der Anzahl der pro Sekunde zu erzeugenden Perioden eine ganz verschiedene. So gibt es Wechselstrommaschinen mit 4, 8, 12, 18, 20 und noch mehr Polen.

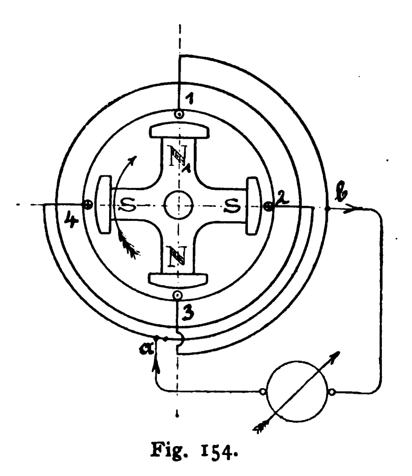


Fig. 154.

Wie stehen bei einer Wechselstrommaschine Tourenzahl, Anzahl der Magnetpole und Wechsel-, respektive Periodenzahl in Zusammenhang? Betrachten wir unser Schema in Fig. 154. Es wird in der Drahtwicklung 1 von dem Nordpol N_1 die höchste positive Stromwelle erzeugt, wogegen in der Wicklung 2 die größte negative Welle verläuft. Fangen wir

mit dem Pole N_1 in 2 an, so wird in derselben die Stromrichtung verkehrt; kommt N_1 in die Stellung 3, so wird dort eine ebenso gerichtete Welle induziert als würde sich N_1 auf seiner früheren Stelle bei 1 befinden. Wir haben also bisher zwei Wechsel oder eine Periode durchgemacht. Von 3 über 4 nach 1 entstehen, da die Lageverhältnisse sich widerholen, abermals zwei Wechsel oder eine Periode; somit entstehen, wenn wir stets nur den einen Pol N_1 im Auge halten, während einer vollen Umdrehung zwei ganze Perioden. Angenommen, der Generator mache 1500 Touren in der Minute, so sind das 25 Umdrehungen pro Sekunde, und da eine Umdrehung 2 Perioden erzeugt, so bekommen wir in dem hier gegebenen Falle 50 Perioden. Das gebräuchliche Zeichen für eine Periode ist $\sim$.

Eine Periode wird also erzeugt, wenn der beobachtete Pol zweimal seine Lage geändert hat, oder, was dasselbe ist, wenn ein Polpaar seine Lage ändert. Macht nun die Maschine n Umdrehungen in der Minute, so wird ein Polpaar auch n mal herumgedreht; hat weiters eine mehrpolige Maschine p solcher Polpaare, so geschieht der Stellungswechsel p mal pro Umdrehung, also in der Minute $n \times p$ und daher in der Sekunde

$$\frac{n \times p}{60};$$

da nun ein doppelter Stellungswechsel nichts anderes ist als eine Periode im Stromverlauf, so bedeutet die soeben hergeleitete Formel die Periodenzahl einer gegebenen Maschine in der Sekunde. Unser vierpoliger Generator in der Fig. 153 mache 1500 Umdrehungen in der Minute, so können wir seine Periodenzahl berechnen:

$$\begin{matrix} n = 1500 \\ p = 2 \end{matrix} \quad \text{also} \sim = \frac{1500 \times 2}{60} = 50.$$

Anderes Beispiel: Ein vorliegender Wechselstrom-(Drehstrom-)-Generator macht 167 Touren pro Minute

und sein Magnetrad hat 18 Polpaare; wie viel Perioden erzeugt er in der Sekunde?

$$\frac{167 \times 18}{60} = 50 \sim.$$

Elektromotoren.

Läßt man in eine Gleichstrommaschine Strom aus einer anderen Elektrizitätsquelle eintreten, so gerät der Anker derselben in Drehung. Für uns ist dies nichts neues, wenn wir uns in Kürze nochmals alle die Versuche und Gesetze aus dem Gebiete des Elektromagnetismus in Erinnerung bringen.

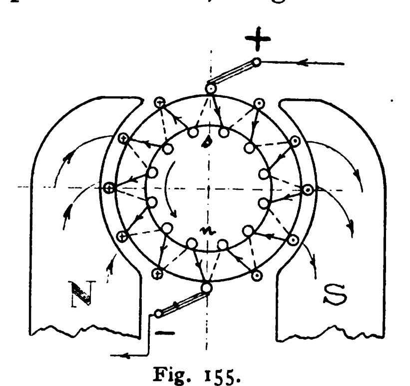


Fig. 155.

Betrachten wir Fig. 155. In dem magnetischen Felde *NS* ist ein Grammescher Ring, in dessen Wickelung bei + der Strom eintritt, dort parallel mit den beiden Ringhälften verläuft, um bei der — Bürste wieder zur Stromquelle zurückzukehren. Denken wir uns vorerst die linke Ringhälfte weg, so stellt die rechte Ringhälfte nichts anderes als einen hufeisenförmigen Elektromagnet vor, bei dem nach der Schwimmerregel oben der Südpol *s*, unten der Nordpol *n* entsteht. Fassen wir nun die linke Ringhälfte allein ins Auge, so entsteht bei derselben ebenfalls oben ein Südpol und unten ein Nordpol. Es bleiben also die Pole auch dann an den obgenannten Stellen, wenn man die beiden Ringhälften wieder zusammenfügt; es stoßen also immer je zwei gleichnamige Pole zusammen und werden Folgepole genannt. Nun können wir leicht einsehen, was weiter geschieht: Der Nordpol *N* des Feldmagnetes zieht den

Folgepol *s* an und stößt *n* ab und umgekehrt, der Folgepol *n* wird von *S* angezogen und von *s* abgestoßen; da nun die Anziehungs- und Abstoßungskräfte alle in demselben Sinne wirken, so wird der Anker im eingezeichneten Sinne, also der Uhrzeigerbewegung entgegen, in Rotation geraten. Selbstverständlich ist diese Fig. 155 nur eine schematische und wir haben uns deshalb die Bürsten am Kollektor aufliegend zu denken. Da immer wieder neue Lamellen bei der Weiterdrehung in der neutralen Zone unter die Bürsten kommen, so bleiben auch die Folgepole immer auf derselben Stelle, und die Drehung des Ankers wird zu einer kontinuierlichen.

Vergleichen wir die Fig. 155 mit 137; dieselben stimmen vollkommen überein. Beide haben den Nordpol auf derselben Seite und bei beiden fließt der Strom im Anker in derselben Richtung; dabei ist jedoch die Drehung eine verkehrte.

In Fig. 155 versetzen wir den Anker dadurch in Drehung, daß wir ihn in ein magnetisches Feld *NS* verlegen und denselben vom Strome durchfließen lassen. In Fig. 137 hingegen haben wir den Anker mechanisch in Rotation versetzt um in seinen Windungen eine elektromotorische Kraft wachzurufen, um also aus demselben einen Strom zu bekommen.

Zur Erzeugung eines elektrischen Stromes im Anker muß also mechanische Arbeit aufgewendet werden; man bekommt hierdurch in den Drahtleitungen elektrische Arbeit.

Schickt man diese in einen Motor, so nimmt er sie wieder auf und gibt uns dafür an der Welle, beziehungsweise Riemenscheibe mechanische Arbeit wieder ab, d. h. wir können irgend eine Transmission, Pumpe etc. betreiben.

Eine solche elektrische Maschine, die elektrische Arbeit aufnimmt und hierfür mechanische Arbeit abgibt, heißt ein Elektromotor oder Motor schlechtweg, zum Unterschiede von einem Dynamo oder Generator, von dem der Strom erzeugt wird.

Auf den ersten Anblick erscheint es dem weniger Eingeweihten merkwürdig, daß man zur Drehung eines

halbwegs großen Ankers, der ja doch mit Ausnahme der unansehnlichen Bürsten- und Lagerreibung sonst ganz frei ist, eine ganze Dampfmaschine anwenden muß. Aus eigener Anschauung wissen wir aber, daß eine Dynamomaschine, wenn wir sie leer anlassen, d. h. wenn wir selbe laufen lassen, ohne ihr vorläufig einen Strom zu entnehmen, äußerst wenig Dampf braucht, denn wir brauchen das Anlaßventil nur wenig zu öffnen, um die Maschine auf ihre normale Tourenzahl zu bringen. Wird nun derselben durch Einschaltung von Verbrauchsapparaten Strom entnommen, so muß das Ventil sofort mehr geöffnet werden, denn sonst würde die Maschine bedeutend langsamer laufen oder gar ganz zum Stillstillstand kommen. Je mehr elektrischen Strom (also elektrische Arbeit) man einer Dynamomaschine entnehmen will, desto mehr muß man ihr mechanische Arbeit zuführen.

Es ist uns genügend bekannt, daß in einem Drahte, der sich in einem magnetischen Felde bewegt, also Kraftlinien schneidet, eine elektromotorische Kraft induziert wird. Bei einem Motor bewegen sich die Ankerdrähte ebenfalls in einem magnetischen Felde und es muß daher in ihnen ebenfalls eine *EMK* induziert werden; von welcher Richtung diese sein müssen, können wir leicht in der Fig. 155 bestimmen. Fassen wir beispielsweise die linken Ankerdrähte ins Auge, so wird in ihnen selbst infolge der Drehung im magnetischen Felde nach der „Rechtehandregel" eine *EMK* induziert, welche in den Drähten aus der Ebene heraus also auf uns zu gerichtet ist. Die Richtung der *EMK* des treibenden Stromes aber ist wie aus der Figur ersichtlich **in** die Papierebene, also der Richtung der, in den Drähten selbst induzierten *EMK* **entgegen** gerichtet. Es würde also die durch Drehung des Ankers allein erzeugte *EMK* einen Strom in entgegengesetzter Richtung liefern, als diejenige des von außen eintretenden Arbeitsstromes ist. Es wird deshalb die so entstehende *EMK* die „Gegenelektromotorische Kraft" des Motors genannt.

Wir können die Gegen-*EMK* indirekt nachweisen. Wir messen den Widerstand der Ankerwickelung; dann

wird bei einer bestimmten Belastung die in den Anker eintretende Stromstärke und die Klemmenspannung gemessen. Aus Widerstand und Spannung müßten wir die gemessene Stromstärke erhalten. Dividieren wir aber nach dem Ohmschen Gesetze die Klemmenspannung des Motors durch den Ankerwiderstand, so erhalten wir eine viel größere Stromstärke als diejenige, die wir faktisch gemessen haben. Da sich der Ankerwiderstand nicht ändert, so geht daraus hervor, daß im Anker selbst irgendeine die Außenspannung abschwächende Kraft vorhanden sein muß, und das ist eben die Gegen-*EMK*. Weil Strom in den Anker eintritt, so muß die Gegen-*EMK* immer kleiner sein als die Außenspannung; denn wären beide gleich groß, so würde in den Anker gar kein Strom fließen.

Wir haben eingangs dieses Kapitels den Motoranker als einen Elektromagnet mit Folgepolen angesehen. Wir wissen, daß die Anziehungskraft eines Elektromagnets abhängig ist von der Anzahl Ampèrewindungen oder, da die Windungszahl im gegebenen Falle konstant ist, einfach von der Stromstärke. Es ist also der Ankerwiderstand gewöhnlich sehr gering.

Der rotierende Motoranker ist immer bestrebt, eine solche Geschwindigkeit anzunehmen, daß seine Gegen-*EMK* der *EMK* des Arbeitsstromes gleich wird und nachdem dieser Zustand beinahe nur im Leerlauf erreichbar ist, tritt infolge des übrigbleibenden geringen Druckunterschiedes auch nur ein geringer Strom in den Anker ein. Wird nun durch Belastung des Motores die Ankerumlaufsgeschwindigkeit verringert, so wird auch die Gegen-*EMK* kleiner, daher die resultierende, noch übrig bleibende äußere Spannung größer und demzufolge wird nun auch ein größerer Strom in die Ankerdrähte getrieben.

Je größer also der Unterschied zwischen der Spannung des äußeren Stromes und der Gegen-*EMK* ist, um so mehr Strom nimmt der Anker auf und um so mehr kann er dann auch ziehen. Wir haben eine höchst interessante Erscheinung des elektrischen Motors vor uns, daß er seinen Stromzufluß ganz selbsttätig reguliert.

Das bisher Gesagte gilt unter der Voraussetzung, daß das magnetische Feld, in dem sich der Anker dreht, von konstanter Stärke ist.

Sowie die Gleichstromdynamomaschinen, so werden auch die Motoren eingeteilt in Hauptschluß (Serien-) Nebenschluß- und Kompoundmotoren.

Hauptschlußmotor: Derselbe ist ganz so geschaltet wie eine Hauptschlußdynamomaschine, also Magnetspulen und Anker hintereinander. Tritt nun Strom in einen beinahe unbelasteten Serienmotor ein, ist die Stromstärke eine nur schwache, daher auch das magnetische Feld sehr schwach. Es wird daher auch die Gegen-*EMK* nur schwach ausfallen, und da der Anker, wie schon gesagt, trachtet, eine beinahe ebenso große Gegen-*EMK* zu erlangen, wie die äußere Spannung des Arbeitsstromes selbst, so wird er dies, weil es ihm dazu an den nötigen Kraftlinien im Felde mangelt, durch eine erhöhte Tourenzahl zu erlangen trachten. Wir wissen ja von früher her, daß die in einem Drahte induzierte *EMK* abhängig ist von der Anzahl Kraftlinien (Dichte des Feldes) und von der Geschwindigkeit seiner Bewegung im magnetischen Felde. Daraus folgt, daß bei gänzlicher Entlastung des Motores seine Umlaufsgeschwindigkeit ungemein groß wird. Es wird daher in solchen Fällen, wo Riemenantrieb ist, ein Serienmotor nicht verwendet, denn durch das Abfallen desselben tritt eine völlige Entlastung und ein Durchgehen des Motores ein. Er wird gewöhnlich mit der Arbeitsmaschine direkt gekuppelt. Es wird daher gleich beim Anlassen der Widerstand an der Welle ein ziemlich großer sein, was eine große Stromaufnahme zur Folge hat. Solche Motoren besitzen daher eine große Anzugskraft, die bei Pumpen, Lastenhebmaschinen etc. gut zu statten kommt.

Nebenschlußmotor: Bei diesem tritt der Strom in die Magnetschenkel und in den Anker parallel ein. Die Magnetspulen bestehen aus vielen dünnen Windungen und sind direkt an den äußeren Stromkreis geschaltet. Daraus geht hervor, daß das Magnetsystem des Motores beinahe konstante Stärke besitzt, so daß praktisch die Tourenzahl desselben bei verschiedenen Belastungen

konstant bleibt, falls natürlich auch die Netzspannung konstant bleibt.

Von einer näheren Beschreibung der Kompoundmotoren wollen wir absehen.

Es fragt sich nun: Wie läßt man einen Motor an? Wir wissen aus unserer vorhergehenden Betrachtung, daß man, solange der Anker nicht die genügende Gegen-*EMK* entwickelt, denselben nicht an die volle Netzspannung anschließen darf. Es ist daher notwendig, sowohl beim Serien-, wie beim Nebenschlußmotor dem Anker einen sogenannten Regulierwiderstand vorzuschalten. Außerdem erheischen es manchmal gegebene Umstände, beim Nebenschlußmotor die Tourenzahl in weiteren Grenzen zu regulieren, was durch die Änderung der Magneterregung geschehen kann; es bekommt also die Magnetwicklung ebenfalls einen Vorschaltwiderstand. Ferner erscheint es häufig notwendig, die Drehrichtung des Motores zu ändern, wozu ein Umschalter verwendet wird. Alle diese genannten Hilfsapparate werden zweckentsprechend in einem einzigen Kasten, dem Anlasser, vereinigt.

Die Fig. 156 führt uns das Schaltungsschema des Anlaßwiderstandes für einen Serienmotor vor. Derselbe ist nichts anderes als ein Kurbelrheostat, durch welchen der Strom durchgehen muß, bevor er in den Anker und die Magnete eintritt. Das Anlassen geschieht immer mit vollem Widerstand und erst dann, wenn der Anker in Drehung kommt, wird nach und nach der Widerstand ausgeschaltet.

Beim Nebenschlußmotor in Fig. 157 sind 2 Kurbelrheostate (Anlasser) in einem einzigen vereinigt, und zwar ist die eine Spiralengruppe für den Anker, die andere für die im Nebenschluß befindlichen Feldmagnete. Zur Betätigung beider Widerstände dient eine einzige Kurbel. Steht die Kurbel auf dem Kontakte 1, welcher der Ruhekontakt genannt wird, so werden die Feldmagnete voll vom Strome durchflossen, der Anker hingegen noch gar nicht. Bei der Weiterbewegung schleift die Kurbel einerseits auf einem langen Kontaktstücke, so daß der von diesem in die Magnete fließende Strom

nicht geschwächt wird; gleichzeitig schleift aber die Kurbel über eine auswendige Reihe von Kontaktknöpfen *a a a*, die mit Widerstandsspiralen verbunden sind und hinter denen der Anker angeschlossen ist. Es wird also durch Weiterdrehung der Kurbel von links nach rechts der Widerstand vor dem Anker ausgeschaltet.

In der Stellung 2 kommt die Kurbel inwendig auf Widerstandskontakte, die den Feldmagneten angehören; durch Drehung der Kurbel nach rechts wird den Magneten Widerstand vorgeschaltet, so daß das Feld derselben geschwächt wird, bei gleichzeitiger Abschaltung des

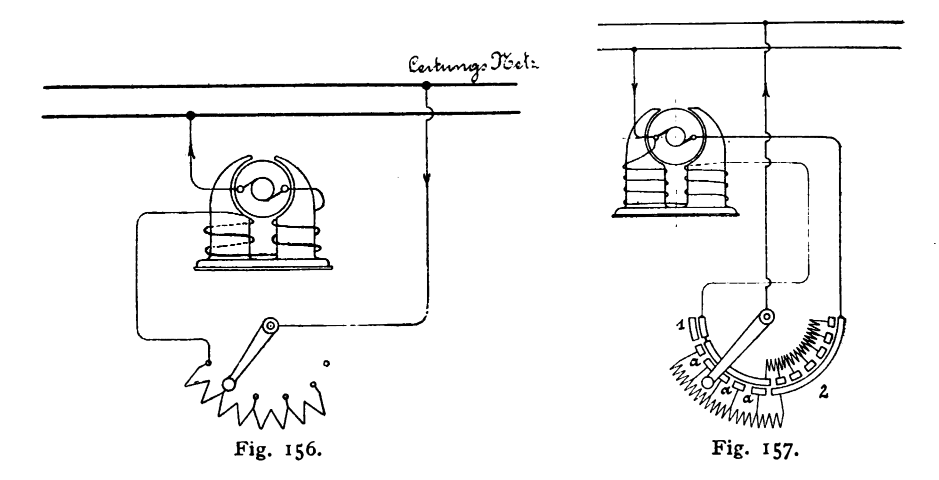


Fig. 156. Fig. 157.

Widerstandes vor dem Anker, so daß in denselben immer mehr Strom eintritt. Er kann also immer mehr ziehen, wobei sich gleichzeitig die Tourenzahl steigert.

In allen Fällen ist es zweckmäßig, zwischen Anlasser und Leitungsnetz einen Ausschalter anzubringen, der hier nicht aufgezeichnet wurde, und der auch auf dem Anlasser angebracht werden kann.

Bei Motoren, die abwechselnd Drehungen in beiden Richtungen ausführen sollen, beispielsweise Fallortshaspel, sind Reversiereinrichtungen erforderlich. Ein einfacher derartiger Apparat besteht aus einem zwei-

poligen Ausschalter, dessen beide parallele Schenkel mit einem nicht leitenden Querstück miteinander verbunden sind. Das Schaltungsschema führt uns Fig. 158 vor. Die Punkte 1 und 2 sind Drehpunkte des doppelarmigen Hebels; wird derselbe aus der horizontalen Stellung nach aufwärts geschlagen, daß er mit den Federkontakten 3 und 4 in Berührung kommt, so fließt der Strom von 4 über den rechten Schenkel nach 2, von da zum Motor und durch diesen nach 1, um über den linken Schenkel wieder ins Netz zurückzukehren. Es verlauft also der Strom in den Motor von rechts nach links. Wird der Hebel nach unten geschlagen, daß er mit den Kontakten 5 und 6 in leitende Verbindung kommt, so geht der Strom von 4 nach 5, über den linken Hebel nach 1 und von da durch den Motor nach 2, um über den rechten Hebel nach 6 und von da über 3 ins Netz zurückzufließen. Es läuft nunmehr der Strom verkehrt in den Motor, also von links nach rechts.

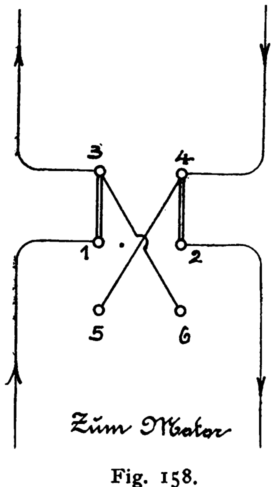


Fig. 158.

Es fragt sich nur noch, wo man den Umschalter anzubringen hat, damit tatsächlich der Motor verkehrt läuft. An der Hand der Fig. 156 oder 157 wird man leicht ermitteln können, was geschieht, wenn man den Strom verkehrt in den Anker und die Magnetspulen schickt. Wenn man den Strom gleichzeitig im Anker und in den Magnetspulen verkehrt, wird der Motor wieder in derselben Richtung wie früher rotieren! Die Drehrichtung des Motores bleibt also in diesem Falle unverändert. Um also eine verkehrte Drehrichtung des Motores zu erzielen, wird man entweder die Stromrichtung in den Magneten oder im Anker allein verkehren; nie in beiden gleichzeitig. Kommt man daher in die Lage, einen gegebenen Gleichstrommotor anderwärts zu

verwenden und ist dort eine verkehrte Drehrichtung desselben erforderlich, so wird man dieselbe dadurch erzielen, daß man beispielsweise die beiden Ankerkabeln vertauscht, wodurch der Strom im Anker, nicht aber in den Feldmagneten verkehrt wird. Bei einem Nebenschlußmotor vertauscht man zweckmäßig die äußeren Enden der Magnetspulen an ihren Klemmen. Um hierbei grobe Fehler zu vermeiden, die für den Bestand des Motores verhängnisvoll werden könnten, ist es angezeigt, vorsichtig zu Werke zu gehen und sich deshalb vorher ein ordentliches, leicht übersichtliches Schaltungsschema sowohl von der ursprünglichen Schaltung als auch von der nachträglichen Umschaltung herzustellen. Bei Nebenschlußmaschinen müssen die Feldmagnete immer so angeschlossen werden, daß sie beim Einschalten am Anlaßwiderstand sofort unter voller Netzspannung stehen. Das eine Spulenende, durch das der Strom eintritt, muß immer an dem langen Kontakt-

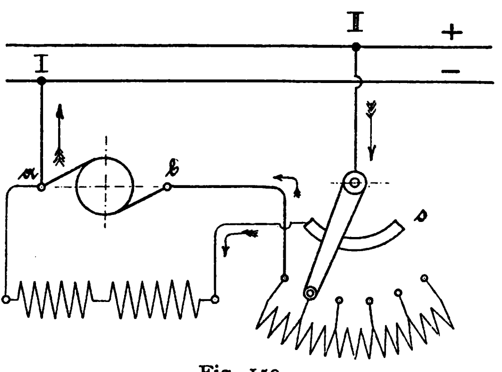


Fig. 159.

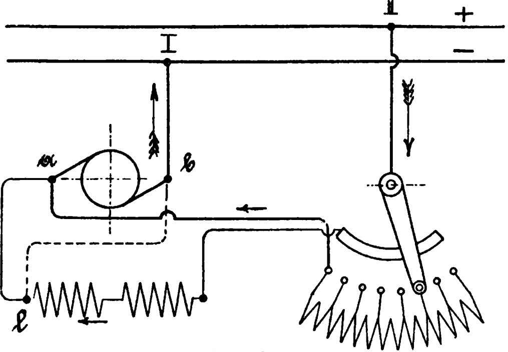


Fig. 160.

ringe, das andere hinter dem Anker an die Rückleitung angeschlossen werden.

Fig. 159 führt uns das Schaltungsschema eines Nebenschlußmotores mit Anlaßwiderstand vor, wobei letzterer für die Magnetspulen nur einen einzigen langen Schleifkontakt *s* besitzt, so daß das Magnetfeld stets gleich stark erregt wird. Der Motor drehe sich von links nach rechts. Fig. 160 führt uns eine falsche Schaltung des Nebenschlußmotores vor, bei dem behufs Umkehr der Drehrichtung die Ankerkabel verwechselt wurden; der Ankerstrom würde an und für sich richtig verlaufen, hingegen tritt der Nebenschlußstrom in die linke Klemme *a* sowie früher ein und müßte noch den Anker passieren. Man muß also außerdem das linke Spulenende *l* an die Klemme *b* anschließen, um der Bedingung nachzukommen, daß der aus den Magnetspulen kommende Strom hinter dem Anker in die Rückleitung eintritt. Schließlich führt uns Fig. 161 das Schaltungsschema vor, wo behufs Umkehr der Drehrichtung die Enden der Magnetspulen vertauscht sind. (Vergl. Fig. 159.)

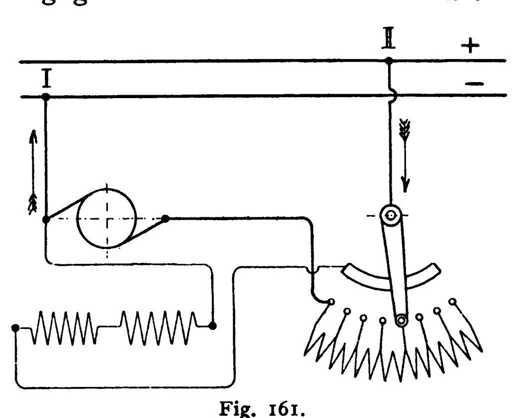


Fig. 161.

Wie schon früher bemerkt, ist es auf die Drehrichtung des Motors ohne Einfluß, wenn man die Anschlußleitungen in I und II vertauscht.

Bei der Ausschaltung eines jeden Schalters bemerken wir Funken, die von den festen Kontaktstücken dem sich entfernenden Kontakthebel nachspringen. Werden diese Ausschaltungen häufig vorgenommen, so hat dies zur Folge, daß die Kontaktflächen in kurzer

Zeit zerstört werden; es müssen daher behufs Vermeidung dieses Übelstandes Vorkehrungen getroffen werden, um die Funken rasch auszulöschen. Ein solcher Funke ist nichts anderes als ein Lichtbogen, bestehend aus glühenden Metall-, beziehungsweise Kohlendämpfen, die auf eine gewisse Zeit eine leitende Brücke zwischen den festen Kontakten bilden. Der Funke oder Lichtbogen ist also ein leicht beweglicher Leiter, durch den der Strom von einem Kontakt zum anderen fließt. Bringt man aber einem solchen Leiter einen starken Magnet nahe, so wird er, wie wir wissen, abgelenkt. Diese Ablenkung hat zur Folge, daß der Lichtbogen sehr stark nach auswärts gebogen wird, wodurch er in kürzester Zeit zerreißt und somit auslöscht. Diesen Umstand benutzt man nun, um mittels eines starken Elektromagneten, der in unmittelbarer Nähe der Schaltkontakte zweckmäßig angebracht ist, den entstehenden Funken rasch auszublasen. Die Wicklung des Elektromagneten heißt Funkenblasspule.

Wechselstrommotor.

Derselbe wird meines Wissens als einfacher Wechselstrommotor beim Bergbau nirgends verwendet; doch wollen wir uns der Vollständigkeit halber in Kürze mit demselben bekannt machen.

Als einfachste Form einer Wechselstrommaschine haben wir den Siemensschen Doppel-**T**-Anker kennen gelernt (Fig. 162). Denken wir uns nun einen einfachen Wechselstrom in denselben eingeleitet; derselbe habe eine gewisse Zeit hindurch (halbe Periode) die in Fig. 162 eingezeichnete Richtung. Es stellt diese Figur einen im Querschnitt gezeichneten Draht *d* vor, wobei der Punkt (.) die Pfeilspitze, das Kreuz (×) die Pfeilfahne bezeichnet. In dem Punkte fließt also der Strom auf uns zu, im Kreuze von uns ab. Es bilden sich im Anker die Pole *ns* und derselbe hat das Bestreben, sich von rechts nach links zu drehen; doch bevor er diese Drehung auszuführen vermag, tritt in die Spule Strom

von der verkehrten Richtung ein, der den Anker sofort umpolarisiert, so daß er nunmehr in verkehrter Richtung gegen früher anzulaufen sucht. Wie wir wissen, gehen die Stromwechsel so rasch hintereinander vor sich, daß der Anker nicht imstande ist, diesen Impulsen zu folgen, und er stehen bleibt — höchstens vibriert er, wie wir es seinerzeit bei der freischwingenden Magnetnadel gesehen haben, schwach. Man sieht also, daß ein Wechselstrommotor von selbst nicht anläuft, was ein großer Nachteil desselben ist. Wird aber der Anker auf irgend eine Weise von außen in Rotation gebracht, und zwar so rasch, daß auch immer ein Stromwechsel in der Zuleitung eintritt, sobald die Windung die neutrale Zone passiert, und schaltet man in diesem Augenblicke ein, so wird der Anker weiter rotieren und wird auch eine, der Stromstärke entsprechende Arbeit leisten können. Es laufen dann Motor und Generator ganz gleich, oder wie man gewöhnlich sagt synchron, und heißen deshalb auch solche Motore Synchronmotoren. Dieselben bedürfen also erst eines Antriebes von außen; erst nachdem der Synchronismus erreicht ist, kann eingeschaltet werden, worauf der Motor durch Einwirkung des Wechselstromes weiter läuft.

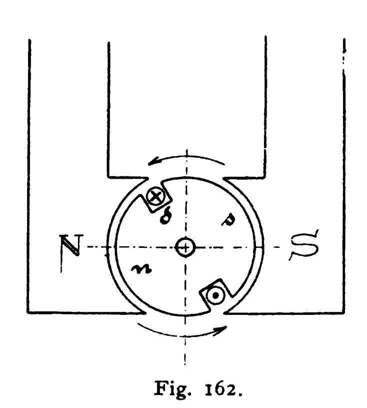


Fig. 162.

Diese Motoren haben aber für gewisse Zwecke die schätzenswerte Eigenschaft, daß sie eben infolge des Synchronismus eine absolut gleichmäßige und konstante Geschwindigkeit besitzen.

Die Feldmagnete müssen selbstverständlich von einer fremden Gleichstromquelle aus erregt werden. Wir haben bei Wechselstromgeneratoren als einen sehr wichtigen Umstand hervorgehoben, daß sich mittels derselben leicht Ströme von hoher Spannung induzieren

lassen, was bei Gleichstromgeneratoren über eine gewisse Grenze hinaus nur äußerst schwierig oder auch gar nicht erzielbar ist. Die hohe Spannung hat besonders für Kraftübertragungen auf größere Distanzen einen eminenten Wert, denn vorerst fallen die Spannungsverluste gar nicht oder nur unbedeutend auf die Wagschale und zweitens werden die Leitungen viel weniger kostspielig. Wir werden übrigens auf diesen Umstand noch später zu sprechen kommen.

Man war daher frühzeitig bemüht, Mittel und Wege zu finden, um ohne besondere Schwierigkeiten die großen Vorteile des Wechselstromes für die Kraftübertragung

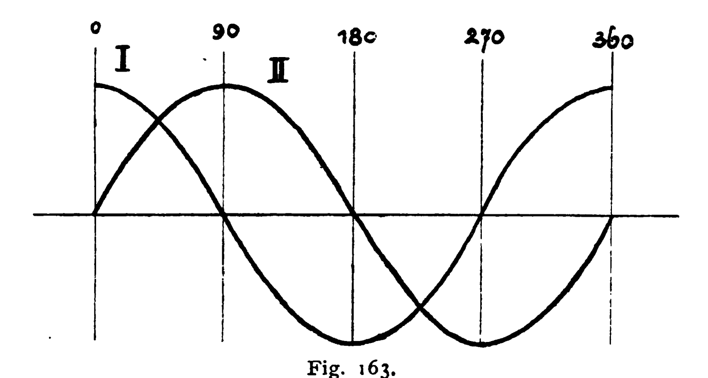


Fig. 163.

in vollem Maße ausnutzen zu können. Die Aufgabe wurde in einer ausgezeichneten Weise dadurch gelöst, daß **Mehrphasiger Wechselstrom** zur Anwendung gebracht wurde.

Man denke sich auf einem Grammeschen Ringe vier Spulen, von denen je zwei diametral gegenüberliegende miteinander verbunden sind. Jedes dieser Spulenpaare wird nun an einen anderen Wechselstrom angeschlossen; wir brauchen also zwei voneinander unabhängige Wechselströme. Diese sind nun so beschaffen, daß sie eine gleiche Periodenzahl, aber ungleiche Phase haben; diese seien gegeneinander um 90° verschoben,

d. h. wenn der eine Wechselstrom den höchsten + Wert erreicht hat, sei gleichzeitig der Wert des anderen Stromes Null, sowie in Fig. 163 veranschaulicht ist.

Beobachten wir nun die Wirkung dieser beiden Ströme in den Ringwicklungen. Der Strom I durchfließt die Spulen $a\,a_1$, der Strom II die Spulen $b\,b_1$ (Fig. 164. (Vergl. die Ströme in Fig. 163.) In dem Augenblicke,

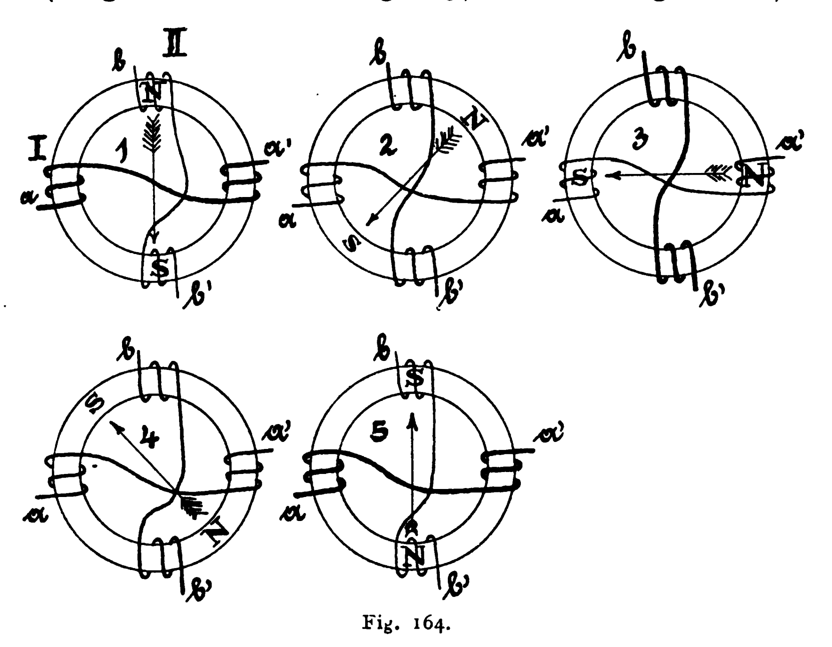


Fig. 164.

wo der Strom I seinen Höchstwert erreicht, hat der Strom II den Wert o. Es wird daher, wie uns bekannt. der Ring von den Spulen $a\,a_1$ so magnetisiert, daß oben in demselben der Folgepol *n*, unten *s* gebildet wird. Ist nun zentrisch in dem Ringe eine drehbare Magnetnadel angebracht, so trachtet sie sich in die Verbindungslinie der Folgepole einzustellen (Bild 1). Gehen wir nun mit dem Strome um 45° weiter (in Fig. 163 bis zu 45°), so sind beide Ströme in diesem Augenblicke

gleich stark. Es werden nun daher beide Spulenpaare von Strömen durchflossen und beide erzeugen in dem Ringe Folgepole, deren Resultante die Stellung *n s* (Bild 2) einnimmt. Die Polarität des Ringes ist also ebenfalls um 45⁰ weiter gewandert und die Magnetnadel wird diesen neuen Polen folgen. Im weiteren Verlauf erreicht der Strom II bei 90⁰ seinen Höchstwert, der Strom I den Wert Null. Es werden also in diesem Augenblicke nur die Spulen $b\,b_1$ vom Strome durchflossen und erzeugen Folgepole links und rechts, wie im Bilde 3 angegeben erscheint; die Magnetnadel wird

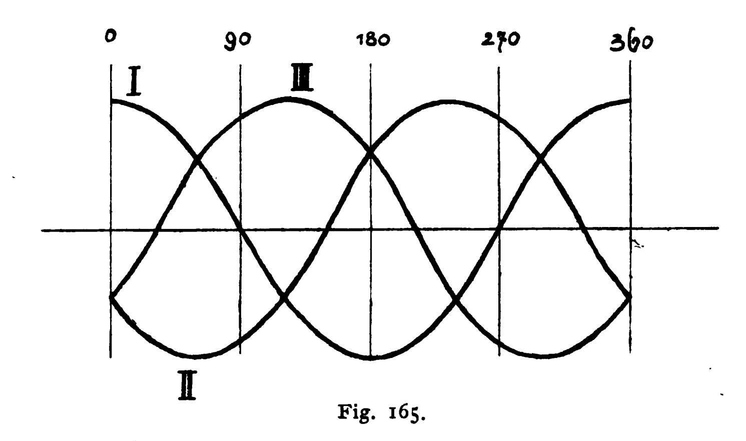


Fig. 165.

diesen Polen folgen, also abermals um 45⁰ weiter wandern. Die jeweilige Intensität des Stromes der beiden Phasen in den Spulen ist durch die verschiedene Stärke der Drähte angedeutet. Den weiteren Verlauf der beiden Wechselströme, sowie die Art und Weise der magnetisierenden Wirkung der Spulenpaare auf den Ring können wir in derselben Weise an der Hand der Figuren weiter verfolgen, und werden zu dem interessanten Resultat kommen, daß das magnetische Feld in dem Ringe in einer bestimmten Richtung gleichmäßig weiter wandert oder wie man zu sagen pflegt, daß sich das Feld dreht.

Wo ein magnetisches Feld ist, wird ein in dasselbe gebrachtes weiches Eisenstück durch Induktion ebenfalls magnetisch, und wenn sich das Feld bei gleichbleibender Stärke räumlich entfernt, trachtet ihm das magnetisierte Weicheisenstück nachzufolgen. Wir können daher ebensogut an Stelle der Magnetnadel in den Ring einen um seine Achse drehbaren Eisenzylinder einbauen.

Ferner ist uns ja bekannt, daß ein anwachsendes oder verschwindendes magnetisches Feld in einem in seinem Bereiche liegenden Drahte Induktionsströme erzeugt. Wenn wir also in den Ring geschlossene Drahtwindungen bringen, werden in denselben Ströme induziert, die von dem sich drehenden magnetischen Felde angezogen werden. Sind diese Drahtwindungen auf einem Eisenzylinder aufgewickelt, so wird natürlich die Anziehungskraft intensiver.

Wir haben also in dieser Anordnung der Wechselströme, die in ihrer Gesamtwirkung Mehrphasenströme genannt werden, einen vorzüglichen Weg zur Herstellung von Wechselstrommotoren, die ohne jede äußere Nachhilfe sofort von selbst angehen werden.

Die mehrphasigen Ströme werden in einem einzigen Generator dadurch erzeugt, daß man die Wicklungen des gewöhnlich feststehenden Ankers in Gruppen teilt, wobei jede derselben für sich einen Wechselstromgenerator vorstellt; sie haben ein gemeinschaftliches Erregerfeld.

Je mehr Phasen nun verwendet werden, desto gleichmäßiger fällt das Drehfeld im Motor aus; aber neue Unannehmlichkeiten tauchen vor uns auf und das sind die vielen Leitungen. Denn nehmen wir nur einen dreiphasigen Wechselstrom an, so wären schon sechs Leitungen notwendig, um die drei Wechselströme zum Motor zuzuleiten.

Vielleicht ließen sich aber, um bei dem dreiphasigen Wechselstrom zu bleiben, die Leitungen reduzieren?

Bei einem Dreiphasenstrom oder wie speziell derselbe auch sehr häufig genannt wird, Drehstrom, sind die einzelnen Ströme um eine Drittelperiode, d. i. also um 120° gegeneinander verschoben (Fig. 165). Jede

Phase habe vorläufig ihre eigene Hin- und Rückleitung; schematisch können wir uns dies so veranschaulichen, wie in Fig. 166 gezeichnet ist; die Zickzacklinien stellen die einzelnen Phasen vor, *r* sind die Rückleitungen derselben. Schon die Figur selbst führt uns zu dem Versuche,

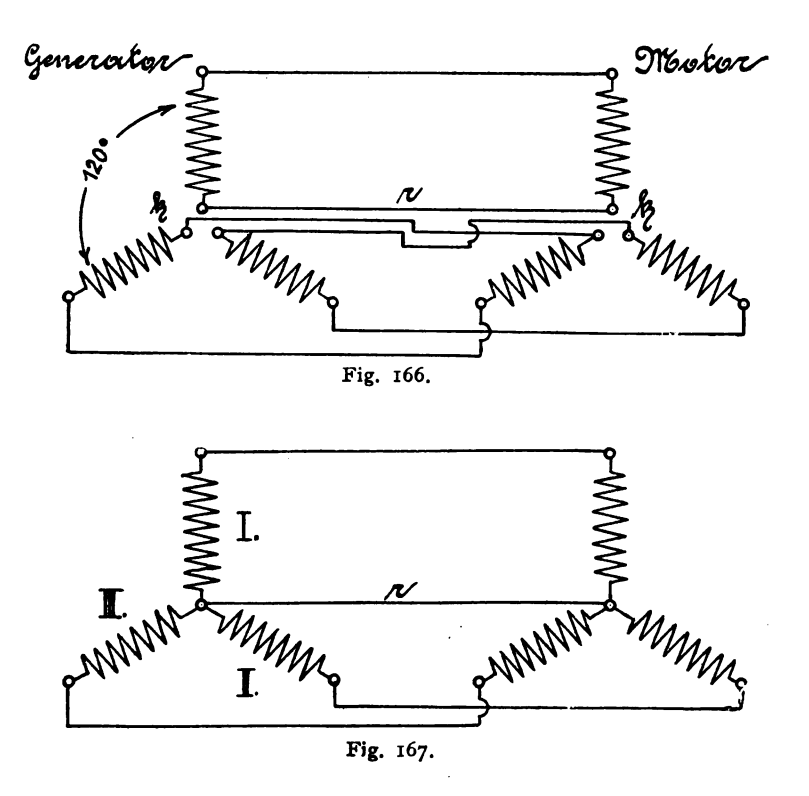


Fig. 166.

Fig. 167.

die Knotenpunkte *k* zu je einem einzigen zusammenzustoßen, wodurch man nur e i n e Rückleitung erhält (Fig. 167).

Nun fragt es sich: Wie verlaufen die Ströme in den Leitungen? Weil sie miteinander in leitender Verbindung stehen, werden vielleicht in gewissen Augen-

blicken auch zwei Ströme durch eine Leitung fließen; wir meinen hier hauptsächlich die Rückleitung *r*. Die Fig. 165 gestattet uns, die Ströme in den einzelnen Positionen summieren zu können. In dem Augenblicke, wo die Phase I ihren positiven Höchstwert erreicht hat, sind die beiden anderen Phasen negativ, und zwar jede nur halb so stark als der Maximalwert beträgt. Halb und halb gibt Eins, und zwar negativ, summiert mit dem positiven Eins der Phase I ergibt den Wert Null. Nehmen wir weiter den negativen Höchstwert der Phase II, so liegen dem gegenüber zwei je halb so

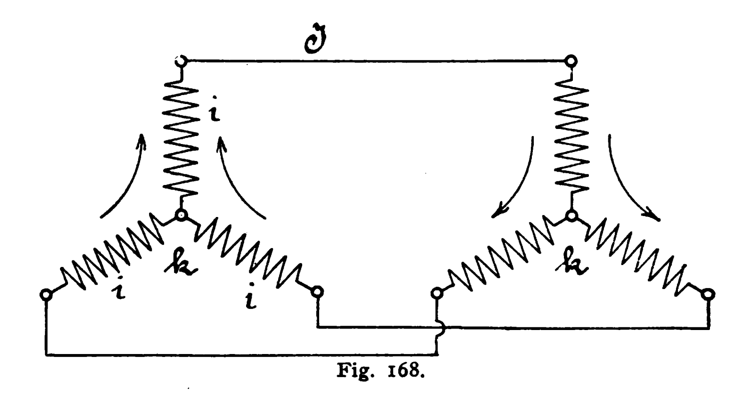


Fig. 168.

große positive Werte der anderen zwei Phasen, so daß wir als Summe wieder den Nullwert bekommen.

Wir gelangen also auf diese Weise zu dem merkwürdigen Resultate, daß der Mittelleiter überhaupt gar keinen Strom führt! Also fort mit ihm! Der Stromverlauf in den drei Phasen geht also so vor sich: Wenn beispielsweise in der Phase I (Fig. 168) der Strom nach außen fließt, so fließen in den anderen zwei Phasen je die halben Werte und treten gemeinschaftlich durch den Knotenpunkt *k* wieder in I ein.

Wir sind über verschiedene Klippen nun zum Wesen des heutzutage sehr stark in Verwendung gebrachten Drehstromes gekommen; sollte manches

nicht recht klar geworden sein, dann nur nicht den Kopf hängen lassen! Einige Male nachlesen, die Figuren mitzeichnen und man wird zu einem guten Resultate gelangen.

Es wäre wirklich schade, über eine Sache, die man nicht sofort versteht, ruhig hinwegzugehen; der Bergmann zimmert ja auch unverdrossen immer wieder eine

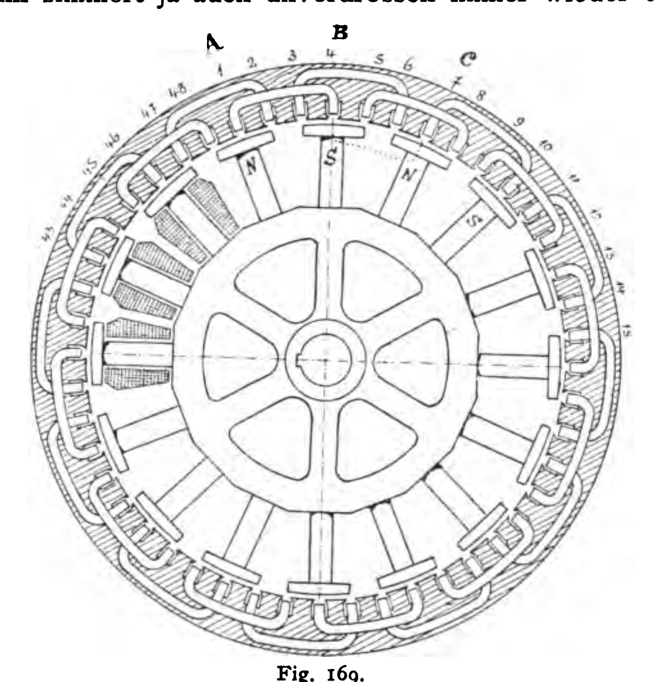


Fig. 169.

druckhafte Strecke von neuem aus, bis es ihm gelingt, in die rückwärts gelegenen Abbaue zu gelangen, hundertmal flüchtet er mit der Senkpumpe vor dem unaufhaltsam im Schachte ansteigenden Wasser und unverdrossen pumpt er es immer wieder heraus, bis endlich der Schacht abgeteuft ist.

Der Drehstrom (Dreiphasenstrom) hat seit der im Jahre 1891 stattgehabten Ausstellung in Frankfurt a. M.,

wo zum ersten Male mit demselben angetriebene Motoren vorgeführt wurden, eine außerordentlich rasche Vervollkommnung und Verbreitung erfahren. Die Ausstellung erregte dadurch besonderes Interesse in technischen Kreisen, daß die Entfernung zwischen dem Drehstromgenerator und der Verbrauchsstelle 175 *km* betrug!

In der praktischen Ausführung besteht ein Drehstromgenerator gewöhnlich aus einem feststehenden, aus dünnen Weicheisenblechen gebildeten Anker, in dessen Nuten die drei Gruppen von Windungen angebracht sind und aus einem in diesem Anker rotierenden Magnetrad; auf dem letzteren sind die Magnete radial angebracht und werden von einer Gleichstromquelle mittels auf der Welle angebrachter Schleifringe gespeist. Die Fig. 169 führt uns die Skizze eines solchen Generators vor, aus der man die Anordnung der drei Wicklungsgruppen ersehen kann. Der Draht 1 und 4 ist vorne zu einer Spule verbunden und denselben gegenüber liegt je ein Magnet und zwar steht in unserem Falle vor 1 der Nordpol, vor 4 der Südpol. Da sich die Magnete an den Drähten vorüber bewegen, so nehmen um dieselben herum magnetische Felder zu und dann wieder ab, d. h. die Drähte werden von entstehenden und wieder verschwindenden Kraftlinien geschnitten. Es wird also in dem Drahte 1 ein von uns wegfließender, in dem Drahte 4 ein auf uns zufließender Strom induziert; die Richtung beider ist identisch, daher können sie miteinander verbunden werden, womit sich die *EMK* summieren. Vor dem Draht 7 steht wieder ein Nordpol, vor dem Draht 10 ein Südpol; es herrscht also bei der Bewegung der Magnete in den letztgenannten Drähten genau derselbe Induktionszustand wie in 1 und 4. Wir können also rückwärts 4 mit 7 verbinden. was durch den punktierten Bogen angedeutet ist. Die *EMK* von 1, 4, 7, 10 werden sich summieren. Auf diese Weise gehen wir von einem Magnetpaar zum anderen und kommen schließlich beim Drahte 46 an; vorne ist derselbe mit 43 verbunden, das rückwärtige Ende desselben ist frei. Würden wir dasselbe, sowie das rückwärtige Ende von Draht 1 an einen äußeren

Stromkreis anschließen, so bekämen wir einen einfachen Wechselstrom.

Laufen wir nun mit dem Magnetsystem um eine Nutenentfernung weiter; dieselben Magnete werden nun gerade vor den Nuten 2, 5, 8, 11 usf. vorübergehen, so daß nunmehr die stärkste *EMK* in dieser genannten Gruppe von Drähten wachgerufen wird, während sie in der vorher behandelten Gruppe 1, 4, 7 usw. nach und nach verschwindet und beinahe Null wird. Es wird also in dieser Wicklungsgruppe ein ebensolcher Wechselstrom erzeugt wie in der vorbehandelten, nur ist er in seiner Phase gegenüber dem früheren, jetzt beinahe durch Null gehenden Strom verschoben.

Würden wir wieder das Ende von Draht 2 und das rückwärtige Ende von 5 mit einem äußeren Stromkreis verbinden, so durchflösse diesen ebenfalls ein einfacher Wechselstrom.

Laufen wir nun mit dem Magnet abermals um eine Nutenentfernung weiter, so wiederholt sich derselbe Induktionsvorgang in der dritten Wicklungsgruppe, nämlich in 3, 6, 9, 12, 15 usf. bis 48. Wenn man nun die Enden 46, 48 und 2 in dem Knotenpunkt *k* miteinander verbindet (verkettet), so bleiben die Enden I, II und III frei, welche die Klemmen des Drehstromgenerators bilden, von denen man einen dreiphasigen Wechselstrom oder Drehstrom mittels dreier Leitungen ins Verbrauchsnetz führen kann.

Sehr übersichtlich werden die drei Wicklungsgruppen, wenn man sich dieselben schematisch, wie in Fig. 170 angegeben, aufzeichnet. Zum Studium zeichne man das Schema in großem Maßstabe auf ein Blatt Papier und ziehe die einzelnen Gruppen mit verschiedenen Farben aus, I vielleicht rot, II blau, III grün. Die Übersicht wird auf diese Weise noch mehr gefördert.

Während der Bewegung des Poles *N* aus der Lage *A* bis in die Lage *C* wurde in den Wicklungen 1, 4, 7, 10 usw. eine volle Periode des Wechselstromes erzeugt, sobald sich also ein Magnet um die doppelte Magnetdistanz, d. i. um ein Polpaar, weiter bewegt hat.

Wir haben in unserem Falle acht Polpaare, daher erhalten wir pro Umdrehung des Magnetrades 8 Perioden pro Phase. Unsere Maschine macht in der Minute 375 Umdrehungen, also liefert sie pro Sekunde

$$\frac{375 \times 8}{60} = 50 \text{ Perioden.}$$

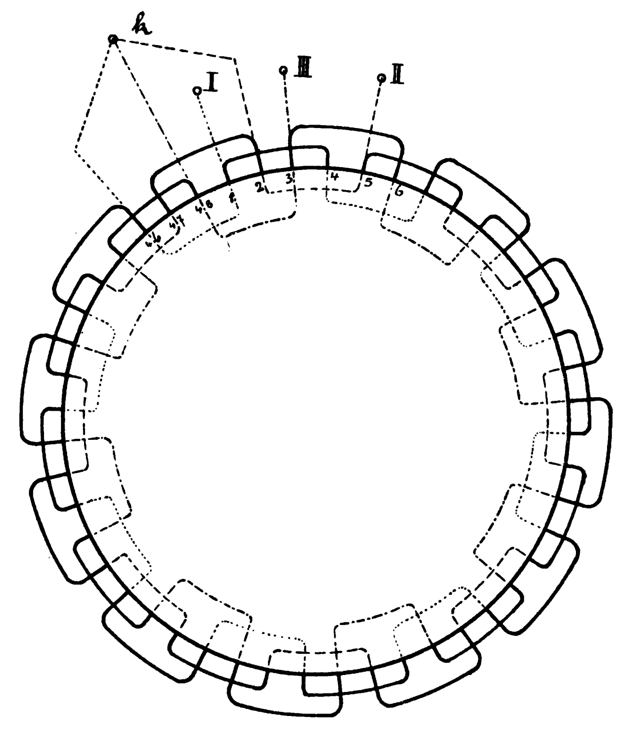


Fig. 170.

Nun gehen wir noch einmal zurück auf die einzelnen Phasen, um ihre Verbindung miteinander näher kennen zu lernen und zu unterscheiden, wie sich Spannung und Stromstärke verhalten. In Fig. 168 haben

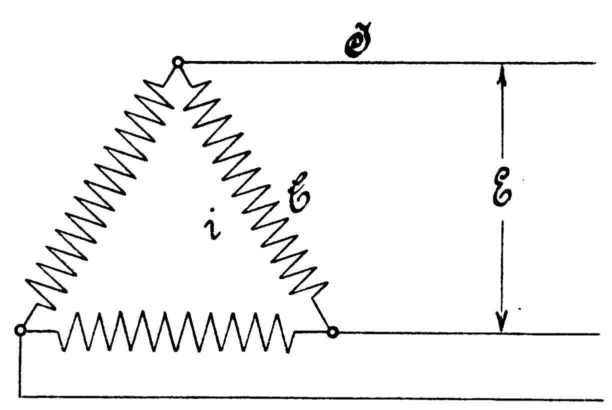


Fig. 171.

wir schon eine solche Phasenverbindung kennen gelernt, sie heißt eine Sternschaltung. Es können die Phasen aber auch so miteinander verkettet werden, wie in Fig. 171 angegeben ist; eine solche Verbindung heißt Dreieckschaltung oder auch Netzschaltung.

Die Magnete, die innerhalb des festen Ankers rotieren, sind Elektromagnete und werden von einer separaten Gleich-

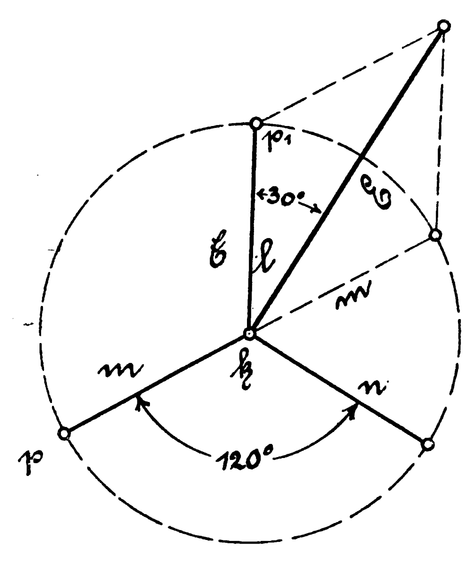


Fig. 172.

strommaschine erregt, welche gewöhnlich mit dem Drehstromgenerator direkt gekuppelt ist; die Stromzuführung zu den Magnetspulen geschieht mittels auf der Generatorwelle angebrachter Schleifringe. Ein Ring hat den positiven, der andere den negativen Pol.

Die Spannung des Drehstromgenerators wird durch Regulierung der Erregung in den Feldmagneten eingehalten.

Wie verhält es sich nun mit der Spannung in der Sternschaltung? Jede Phase für sich betrachtet, hat eine bestimmte Spannung $\mathfrak{E}$, die wir durch eine bestimmte Länge l (Fig. 172) graphisch darstellen wollen; die Spannungen der anderen zwei Phasen sind durch m und n bezeichnet. Zur Darstellung benutzen wir ein Diagramm, in welchem die Phasen um 120° voneinander verschoben gezeichnet sind; dasselbe heißt Uhrdiagramm. Wie groß ist nun die Klemmenspannung zwischen p und p_1? Wir betrachten l und m als zwei Komponenten, und wollen ihre Resultierende suchen. Zu diesem Zwecke verlegen wir uns m nach rückwärts, was ja an den absoluten Spannungswerten gar nichts ändert. Aus dem Parallelogramm erhalten wir die resultierende Klemmenspannung E, oder auch die verkettete Spannung genannt.

Der Winkel zwischen l und E beträgt 30°; berechnet man die Seite E unter Zugrundelegung einer bestimmten Zahl für die Seite l, sagen wir beispielsweise 100, so bekommen wir für E den Wert 173·2, d. h. E ist 1·732 mal größer als $\mathfrak{E}$. Die Zahl 1·732 ist gleichwertig mit dem Ausdruck $\sqrt{3}$.

Es ist also die Klemmenspannung bei einem Dreiphasenstrom in Sternschaltung gleich der Phasenspannung mal $\sqrt{3}$

$$E = \mathfrak{E} \times \sqrt{3}.$$

Die Stromstärke J in einer Leitung ist derjenigen in einer Phase gleich. $J = i$ (Fig. 168).

Bei der Dreieckschaltung, wie aus Fig. 171 leicht ersichtlich ist, sind die Spannungen $\mathfrak{E}$ und E gleich.

$E = \mathfrak{E}$; die Klemmenspannung ist gleich der Phasenspannung. Dagegen ist

$$J = i \times \sqrt{3}.$$

Es fragt sich nun, mit welchen Instrumenten Spannung und Stromstärke beim Wechselstrom gemessen werden? Es müssen selbstverständlich nur solche Instrumente verwendet werden, die auf Wechselstrom reagieren. Von denjenigen, die wir bisher kennen gelernt haben, sind es vor allem die Hitzdrahtinstrumente, denn bei diesen ist es ganz einerlei, welcher Strom den Hitzdraht durchfließt, ob ein gleichgerichteter, fort in derselben Richtung fließender oder ein hin- und hergehender Strom; die Erhitzung, respektive Ausdehnung wird immer nur der Strommenge proportional sein. In gleicher Weise dienen sehr oft die Instrumente von Hummel. Es wird zwar die Polarität der Spule ebensooft gewechselt, als der zu messende Strom selber Wechsel macht, aber weil sich in derselben ein äußerst weiches Eisenstückchen befindet, wird dasselbe durch Induktion sehr leicht bald nord- bald südmagnetisch, immer der Polarität des Solenoides entsprechend, und es findet ebenfalls eine stete Anziehung gegen die Peripherie statt.

Ein Wechselstrom schwankt, wie uns bekannt, zwischen einem maximalen positiven und einem maximalen negativen Werte. Schalten wir nun in diesen Strom eines der obgenannten Instrumente ein, so wird dasselbe nicht diese Maxima angeben, sondern bleibt, solange sich am Wechselstrome selbst nichts ändert, in einer gewissen Stellung ruhig stehen, so daß man bequem Stromstärke oder Spannung ablesen kann. Diese Werte werden effektive Spannung und effektive Stromstärke genannt. Die Instrumente geben also eine Art Mittelwert an, jedoch nicht den arithmetischen Mittelwert der hintereinander verlaufenden positiven und negativen Maxima, denn dann würden ja die Instrumente immer auf Null bleiben. Was die Instrumente angeben, ist die Quadratwurzel aus dem Mittelwert der Quadrate. Wenn wir in der Praxis von Spannung und Stromstärke sprechen, sind darunter

immer diese Werte gemeint. Zeigt uns also das Voltmeter in unserer Drehstromanlage, in der wir einen Generator mit Sternschaltung haben, eine Klemmenspannung von 1730 Volt an, ist vorerst die Phasenspannung

$$\mathfrak{E} = \frac{E}{1{\cdot}73} = \frac{1730}{1{\cdot}73} = 1000 \text{ Volt.}$$

Dieser letztere Wert bedeutet für die Phase den oben definierten effektiven Wert. Der maximale Wert bei einem Wechselstrom ist aber 1·414 mal größer; es wird also die Isolation der Ankerwiklung nicht einer Spannung von 1000 Volt, sondern periodisch einer solchen von 1440 Volt ausgesetzt sein. Um das bisher

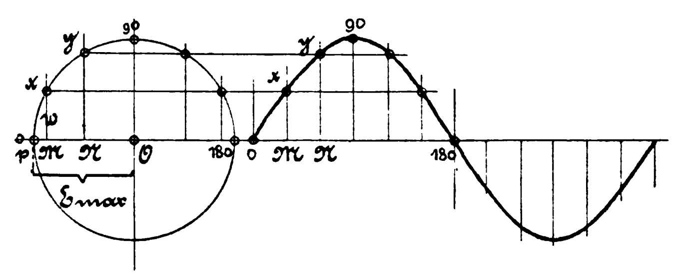


Fig. 173.

Gesagte über den Effektivwert besser zu begreifen, wollen wir denselben graphisch ableiten.

In Fig. 173 haben wir eine halbe Periode des Wechselstromes vor uns, wie solche aus einem solchen Uhrdiagramm entstanden ist. Denken wir uns nämlich mit der maximalen EMK als Radius einen Kreis mit dem Punkt P beschrieben, so ist der Punkt in einer beliebigen Stellung X um das Stück PM vorwärts und um das Stück MX in die Höhe gegangen. Trägt man nun diese Abszissen und Ordinaten von einem Punkte O anfangend auf, und verbindet die so erhaltenen Punkte mittels einer Kurve, so erhält man die uns bereits bekannte Wellenlinie, welche den Namen Sinuslinie führt. Der Name rührt daher, weil diese Linie die

Scheitelpunkte der jeweiligen, einer bestimmten Zeit t entsprechenden EMK verbindet, welche eine Sinus-funktion von E_{max} bilden. So ist beispielsweise $MX = E_{max} \times sin\ w$. w ist jener Winkel, um welchen sich

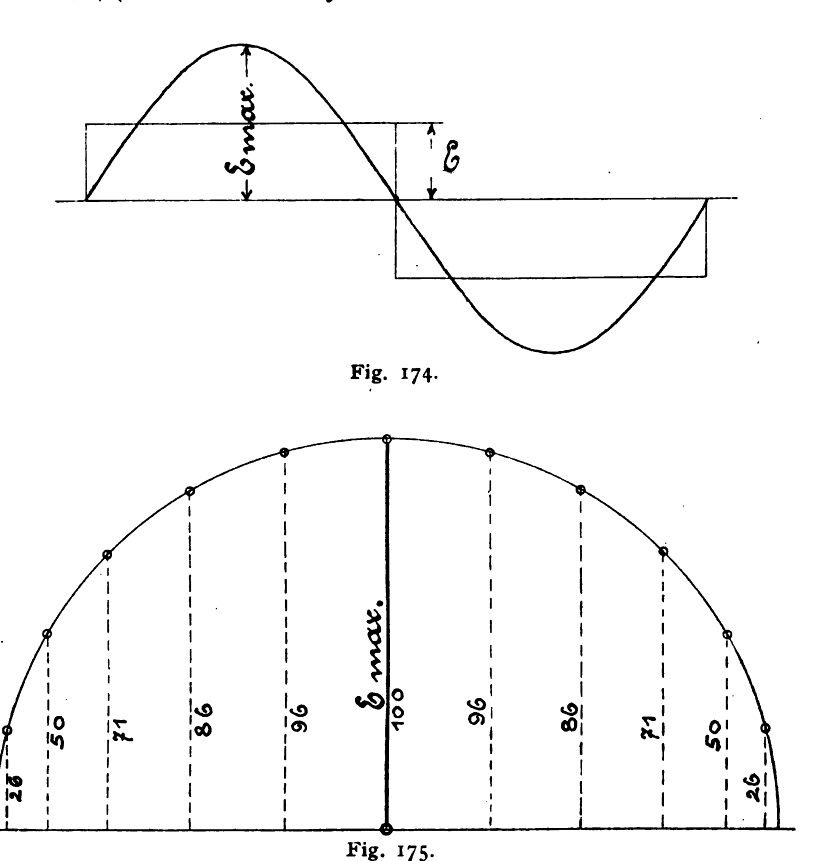


Fig. 174.

Fig. 175.

der Radius PO bis zu diesem Augenblicke bewegt hat. Wird also der Kreis in eine beliebige Anzahl gleicher Teile geteilt, daß gleiche Zentriwinkel entstehen, so stellen die von den Peripheriepunkten gefällten Ordinaten

die jeweiligen *EMK* dar. Tragen wir diese Ordinaten auf eine horizontale gerade Linie auf, welche die Zeit der Bewegung des Punktes *P* in einem beliebigen Maßstabe darstellt, so geben uns die Endpunkte die Sinuskurve.

Ein eingeschaltetes Voltmeter müßte nun alle diese Werte von Null bis zum Maximum und zurück angeben; dies ist aber, wie wir schon gesagt haben, nicht der Fall, sondern es zeigt, wie in Fig. 174 dargestellt ist, einen gewissen, vorher schon definierten Mittelwert *E* an. Denselben erhalten wir, wie in Fig. 175 angegeben, folgendermaßen: Wir machen mit E_{max} das bekannte Uhrdiagram in einem solchen Maßstab, daß letztgenannte Größe gerade 100 Volt vorstellt. Nun greifen wir eine gewisse Anzahl Ordinaten, in unserem Beispiel inklusive E_{max} im Ganzen elf, und messen ihre Längen möglichst genau ab. In die Figur sind die Längen, die nichts anderes als die jeweiligen *EMK* bedeuten, eingezeichnet. Quadriert man alle diese Werte, macht aus ihnen den Mittelwert und zieht aus demselben die Quadratwurzel, so bekommt man ungefähr den Wert 70·5 Volt. Derselbe ist nichts anderes als jener Wert, den das in diesen Strom eingeschaltete Instrument angibt. E_{max} ist 1·414 mal größer als dieser Wert, denn 100 : 70·5 ist ungefähr 1·41. Bei der Bildung des Mittelwertes aus den Quadraten ist nicht durch elf, sondern durch zwölf zu dividieren, weil zwischen dem elften Wert rechts, d. i. 26, und dem Nullpunkt rechts auch noch eine *EMK* besteht. Unsere Berechnung ist ja nur eine rohe; es folgen in Wirklichkeit unendlich viele *EMK* aufeinander, so daß man ihren genauen Mittelwert *E* nur durch Integration zu erhalten vermag, wobei man es also eigentlich mit Flächen zu tun hat. Es werden also Flächenstreifen summiert und in unserem speziellen Falle sind es ihrer zwölf. Genauer sollte die Zahl 70·7 herauskommen, aber wie gesagt, unsere Rechnung ist nur eine rohe.

Ein Wechselstrom folgt also dem Sinusgesetze. Es ist verschiedenen hervorragenden Fachmännern gelungen, mittels besonderer Einrichtungen den Strom in jedem be-

liebigen Augenblicke (Phase) abzunehmen, wodurch sie die Kurve erhielten. Sowohl *EMK* wie Stromstärke folgen dem Sinusgesetze. Die Form der Kurve ist abhängig von den Polflächen und von der Anordnung der Wickelungen im Anker.

Drehstrommotor.

Diejenigen Betrachtungen nun, die wir bei einem zweiphasigen Motor hinsichtlich der Entstehung eines Drehfeldes durch zwei Wechselströme gemacht haben, gelten ebensogut für einen dreiphasigen Wechselstrom, nur haben wir uns an Stelle der zwei Phasen deren drei in ihrer Gesamtwirkung vorzustellen.

Gerade wie beim Drehstromgenerator der Anker, so ist beim Drehstrommotor der feststehende Teil, welcher Stator genannt wird und in den der treibende Strom (Primärstrom) eintritt, gewickelt. Der sich drehende innere Anker, auch Rotor (Läufer) genannt, hat bei kleinen Motoren in Nuten eingelagerte, isolierte Stäbe, welche beiderseits der Stirnflächen mit je einem Metallringe verbunden sind. Ein solcher Anker heißt Stabanker; weil die in diesen Stäben induzierten Ströme (Sekundärströme) wegen der Kurzschließung mittels der Ringe ineinander verlaufen, heißt dieser Anker auch Kurzschlußanker. In einer anderen Ausführung ist der innere Anker ebenfalls mit übereinandergreifenden Wicklungen versehen. Es entstehen dann Spulengruppen, wobei das eine Ende einer jeden solchen Gruppe in einem gemeinschaftlichen Knotenpunkte zusammenläuft, die übrig bleibenden Enden der anderen Seite zu drei voneinander isolierten Schleifringen führen. Ein solcher Anker heißt ein Schleifringanker.

Wir wollen uns mit den Vorgängen in einem im Betriebe stehenden Motor befassen.

Stellen wir uns vorerst einen Kurzschlußanker vor. Wird in die Statorwicklungen dreiphasiger Wechselstrom eingelassen, so entsteht in seinem Eisenblechkern ein wanderndes magnetisches Feld, das, der Frequenz ent-

sprechend an einer gewissen Stelle betrachtet, ebenso oft von Null anfangend ein +-Maximum erreicht, durch Null wieder zu einem —-Maximum übergeht usf. Wir wissen aber aus unseren Betrachtungen über Elektromagnetismus, daß ein auftretendes oder verschwindendes magnetisches Feld in einem in seinem Bereiche befindlichen Leiter elektrische Ströme zu induzieren vermag. Dasselbe geschieht auch in unserem Motor. Wie wir schon gelegentlich der Besprechung der Gleichstrommotoren von einer Gegen-*EMK* gehört haben, so wirkt auch hier eine solche dem eintretenden Primärstrome entgegen. Da dieselbe fast genau so groß ist, wie die eintretende *EMK*, würde, wenn die Rotorwicklungen offen wären, auch beinahe gar kein Strom fließen. Nun sind aber, wie vorausgesetzt, diese Wicklungen geschlossen; das umlaufende magnetische Feld induziert in denselben eine starke *EMK* und es durchfließt daher dieselben ein starker Strom. Diese *EMK* wirkt aber der primären Gegen-*EMK* gerade entgegen, schwächt also dieselbe ab. Demzufolge kann sich die primäre Spannung im Stator stärker entfalten und die Folge ist ein großer Stromfluß, also eine große Stromaufnahme. Sobald aber der Rotor anfängt, sich zu drehen, wird seine *EMK*, da er immer weniger von den im selben Sinne umlaufenden Kraftlinien geschnitten wird, auch immer kleiner. Es wird daher auch die Rückwirkung derselben auf die primäre Gegen-*EMK* abnehmen, wodurch letztere wieder in den Stand gesetzt wird, die primäre Spannung und somit die zufließende Stromstärke zu schwächen; mit anderen Worten, sobald ein Kurzschlußmotor angelassen wird, ist der Stromstoß also die Stromaufnahme eine zwei- bis dreimal so große wie dann, wenn der Motor seine normale Tourenzahl erreicht hat.

Würde der Rotor schließlich genau dieselbe Geschwindigkeit erlangen, welche das umlaufende Feld besitzt, so hätte er gar keine Spannung und demzufolge auch keinen Strom in seinen Wicklungen mehr, da er ja von keinen Kraftlinien mehr geschnitten würde. Es würde in den Stator nur der sogenannte Magnetisierungsstrom fließen, als ob die Rotorwicklungen offen wären.

Ein derartiger vollständiger Synchronismus tritt aber bei diesen Motoren **nie** ein und sie werden deshalb **asynchrone Motore** genannt.

Aus dem bisher Gesagten können wir also den nicht sehr erfreulichen Schluß ziehen, daß das Anlassen eines größeren Drehstrommotores wegen der plötzlich anwachsenden Stromstärke große Schwierigkeiten bereitet, denn bei größeren Motoren wäre die Stromauf-

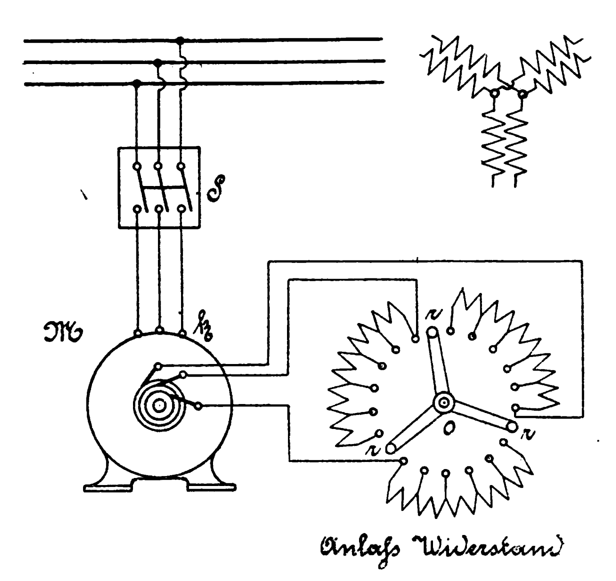


Fig. 176.

nahme beim Einschalten auch dreimal so groß, als wie im normalen Betriebe.

Wenn wir aber dafür sorgen, daß beim Anlassen der stark anwachsende Strom im Rotor durch Widerstände teilweise vernichtet wird, so kann auch der eintretende Primärstrom nicht so groß werden. Wir sammeln daher den induzierten Strom des Ankers in Schleifringe und führen ihn durch vorgeschaltete Widerstände. Fig. 176 gibt uns das Schaltungsschema dieser Einrich-

tung. In der Figur rechts ist das Schema der drei Phasen von Stator und Rotor angedeutet und zwar haben, wie man sieht, beide Sternschaltung. Primär- und Sekundärwicklung stehen miteinander in gar keiner leitenden Verbindung! Der Strom in der letzteren entsteht ausschließlich durch Induktion. Vom Leitungsnetz geht der Strom durch einen dreipoligen Schalter *S* zum Motor *M*.

Der im Rotor induzierte Strom geht durch die Schleifringe zu einem Anlaßwiderstand. Dieser besteht gewöhnlich aus einem gußeisernen Kasten, in den drei Gruppen von blanken Widerstandsspiralen eingebaut sind; je eine dieser Gruppen steht mit einem Schreifringe durch Vermittlung von Bürsten und kurzen Kabelstücken in Verbindung. Der Kasten ist oben mittels einer Marmorplatte abgeschlossen, auf der sich Metallkontakte befinden, über die eine dreiarmige Kurbel so gleiten kann, daß sie immer gleichzeitig je einen Metallknopf jeder Widerstandsgruppe berührt. In der gezeichneten Stellung steht sie auf den sogenannten Ruhekontakten, also in keiner metallischen Verbindung mit den Widerständen.

Wird nun der Schalter *S* geschlossen, so fließt Strom in den Stator und da die Anlaßwiderstände, somit auch die Windungen des Rotors noch offen stehen, verläuft noch kein Sekundärstrom in dem letzteren und er wird noch nicht rotieren. In den Stator geht nur der sogenannte Magnetisierungsstrom, welcher den aus dünnen Eisenblechen bestehenden Eisenkern desselben magnetisiert.

Wird nun die Kurbel des Anlaßwiderstandes von links nach rechts gedreht, so wird der Induktionsstromkreis des Rotors geschlossen; weil aber noch der ganze Spiralwiderstand vorgeschaltet ist, ist der Induktionsstrom nicht bedeutend, so daß auch der Stator keinen bedeutenden Primärstrom aufzunehmen vermag. Es herrscht in den Stromkreisen ungefähr derselbe Zustand, als ob der Rotor schon die normale Tourenzahl hätte. Der Mittelpunkt *O* der Kurbel bildet den uns bekannten Knotenpunkt, in welchem die drei Sekundärphasen zusammenlaufen. Der Rotor setzt sich nun lang-

sam in Bewegung und mit zunehmender Umlaufsgeschwindigkeit desselben können die Anlaßwiderstände nach und nach ausgeschaltet werden; bei normaler Geschwindigkeit nun sind gar keine Widerstände mehr vorgeschaltet und wir haben im Prinzip wieder nichts anderes vor uns, als einen Kurzschlußanker; denn solange der Motor im Betriebe steht, sind die Widerstände abgeschaltet.

Der Widerstandskasten ist behufs besserer Isolierung der Spiralen mit Öl gefüllt.

Der Anlaßwiderstand dient also ausschließlich zum Anlassen des Motors und darf nie zur Regulierung der Tourenzahl dienen.

Die Drehrichtung des Motors wird dadurch umgekehrt, daß man zwei Zuleitungen an den Motorklemmen vertauscht.

Die Tourenzahl des Motors ist einzig und allein nur von derjenigen des Generators abhängig, jedoch nicht mathematisch genau. Bei Betrachtung der inneren Vorgänge bei einem Drehstrommotor haben wir gesehen, daß der sich drehende innere Anker *stets* etwas hinter dem Drehfeld des Stators zurückbleibt; man nennt dies die *Schlüpfung*. Sie ist bei Leerlauf geringer als bei Vollbelastung. Bedeutet n_1 die Umdrehungszahl des Feldes, n_2 die Umdrehungszahl des Rotors pro Sekunde, so ist die Schlüpfung $= \frac{n_1 - n_2}{n_1}$.

Ferner haben wir es mit dem *Riemenschlupf* zu tun, wodurch die Tourenzahl des Motors bei Voll- und Leerlauf ebenfalls verschieden wird; bedeutet n_l die Tourenzahl des Rotors bei Leerlauf, n_v diejenige bei Vollbelastung, so ist die Schlüpfung

$$\frac{(n_l - n_v)\,100}{n_l} = \text{Prozent}$$

Die Tourenzahl des Drehstrommotors hängt ab von der Periodenzahl des ihn treibenden Stromes, sowie von der Anzahl Pole, welche eine Phase in dem rotierenden Feld des Motors bildet. Es ist also hier dieselbe

Formel verwendbar, wie wir sie bei den Drehstromgeneratoren benutzt haben.

Um uns darüber Klarheit zu verschaffen, wieviel Pole ein gegebener Drehstrommotor besitzt, wollen wir uns mit der Wicklung von Statoren näher bekannt machen. Es handelt sich bei einem Motor in erster Linie um die Stärke des magnetischen Feldes, denn von diesem hängt ja die Zugkraft des Motors, also seine Leistung ab. Da dieselbe von der Anzahl Ampèrewindungen abhängig ist, so muß deren ein Pol oft recht viele haben, und es ist oft nicht möglich, dieselben in einer einzigen Nut unterzubringen; es wird daher oft eine solche Spule

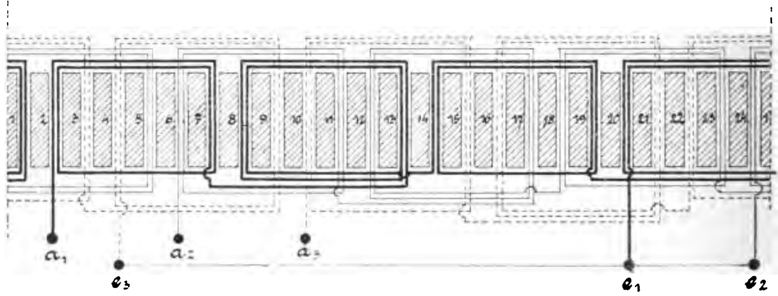


Fig. 177.

in zwei und mehr nebeneinander befindliche Nuten eingelegt.

Denken wir uns den Stator z. B. eines vierpoligen Drehstrommotors an irgend einer Stelle aufgeschnitten und in eine Ebene, mit der Bohrung, respektive den Wicklungen gegen uns gewendet, aufgerollt (Fig. 177).

Hat nun beispielsweise die stark schwarz ausgezogene Phase die stärkste Stromintensität, so haben ihre Pole auch das stärkste magnetische Feld in den Zonen 5 (sagen wir ein Nordpol), in 11 (Südpol), 17 (wieder Nordpol) und 23 (Südpol). Diese Phase nimmt nun ab und es verstärkt sich die nächstfolgende, das ist also die Phase a_2. Erreicht jetzt diese ihr Maximum, so ist das stärkste magnetische Feld in den von ihren Spulen eingeschlossenen Partien, also in 9 (sagen wir wieder

ein Nordpol), in 15 (Südpol), in 21 (Norpol) und schließlich in 3 (Südpol). Man sieht hier also deutlich, daß die magnetische Intensität der Pole bisher um die Wegstrecke von 5 bis 9 gewandert ist. So können wir die Wanderung weiter verfolgen, und wir kommen hier zu dem Ergebnis, daß das magnetische Feld, also die magnetische Polarität am Umfange des Stators weiter wandert, also umläuft. Die Umlaufsgeschwindigkeit desselben ist, wie wir schon gesagt haben, abhängig von der Periodenzahl einer Phase und von der Anzahl der Pole im Stator.

Ist also bei einem Motor beispielsweise die Tourenzahl und die Periodenzahl bekannt, so kann man seine Polzahl berechnen. Z. B.

Ein Motor macht 960 Touren bei 50 Perioden

$$p = \frac{\sim \times 60}{960} = \frac{3000}{960} = 3,$$

d. h., der Motor hat 3 Polpaare oder 6 Pole.

Der hier in seiner Wicklung soeben beschriebene Motor ist, wie wir aus der Fig. 177 ersehen können, ein vierpoliger; ein Pol umfaßt immer das Feld von 6 Nuten. Es sind demnach die nacheinander auftretenden, maximalen Felder ziemlich weit auseinander, nämlich ebenfalls immer um 6 Nuten, denn wir haben oben gesehen, daß beispielsweise ein Nordpol bei 5 nach und nach verschwindet und erst wieder bei 9 sein neues Maximum nach und nach erreicht.

Eine weitaus häufigere Methode der Wicklung ist die in Fig. 178 dargestellte.

Denken wir uns vorerst, wir hätten eine Drahtschleife vor uns, wie eine solche in Fig. 179 dargestellt erscheint. Unter einem jeden der vier stark ausgezogenen Drähte 1, 2, 3, 4 befindet sich eine kleine Magnetnadel. Die ganze Schleife liege so, daß alle ihre Drähte, wenn sie nicht vom Strome durchflossen wird, genau in der Nord-Südrichtung liegen, sich also mit ihren Nadeln decken. Die magnetischen Felder der letzteren verlaufen bekannterweise in der punktierten Art.

Wird nun dieses System von einem starken Strome in der gezeichneten Richtung durchflossen, so werden

die Nadeln nach der Ampèreschen Schwimmerregel so abgelenkt, wie die punktierte Ausführung derselben andeutet. In Wirklichkeit werden freischwingende magnetische Nadeln nie bis zu einem rechten Winkel ausgelenkt, weil dies die Richtkraft der Erdpole verhindert,

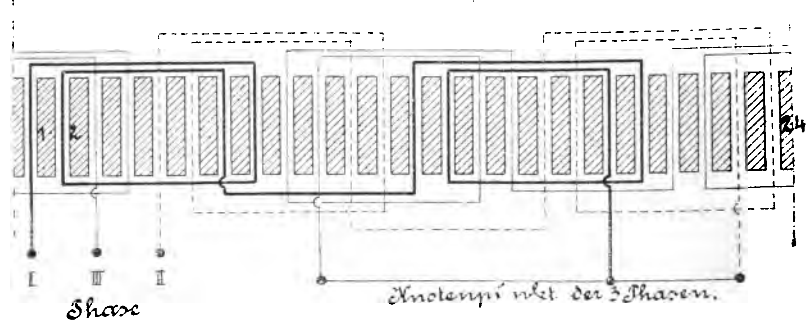


Fig. 178.

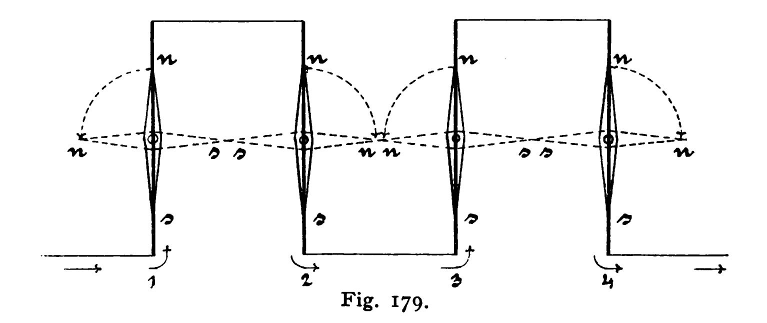


Fig. 179.

aber wir können uns in unserem Falle dieselbe wegdenken.

Denken wir uns nun weiter die Schleife, sowie sie vor uns auf dem Papier liegt, mit demselben zu einem Zylinder umgebogen, so haben wir vor uns nichts anderes als einen Stator mit seinen Windungen. Es entsteht also auf diese Weise ein zusammenhängendes, magnetisches Feld von vier Folgepolen, wir haben ein

vierpoliges magnetisches Feld vor uns, gebildet von einer Phase.

Nach diesem Prinzip ist nun die vierpolige Wicklung eines Drehstrommotors in allen drei Phasen ausgeführt, wie es die Fig. 178 schematisch andeutet. An Stelle eines einzigen Drahtes sind hier aber zwei benachbarte, zu je einer Phase gehörige Nuten mit je 10 Drähten ausgefüllt. Die Seitenansicht der Wicklung ist in der Fig. 180 gegeben.

Es brauchen somit in diesem Falle die drei Phasen zu 6 Nuten nebeneinander; da der Motor vierpolig ist, so muß der Stator im ganzen $6 \times 4 = 24$ Nuten haben.

Beispiel. Ist mir ein Motor gegeben, so kann ich durch Abzählen der Nuten, sowie durch Bestimmung der Art der Spulenwicklung, in wieviel Nuten nebeneinander nämlich ein Pol untergebracht ist, berechnen, wieviel Touren derselbe bei einer bestimmten Periodenzahl machen wird. Also:

Ein Drehstrommotor hat 120 Nuten; jede Wicklung nimmt vier nebeneinander liegende Nuten ein. Derselbe soll an einen Strom von 50 ∼ angeschlossen werden; wieviel Touren wird er machen?

Es brauchen demnach je drei nebeneinander liegende Phasen $4 \times 3 = 12$ Nuten;

$120 : 12 = 10$, d. h., der Stator hat 10 wandernde Pole oder 5 Polpaare p.

Setzen wir diese Zahl in unsere bekannte Formel ein, $n = \frac{\sim \times 60}{p}$, so bekommen wir die Tourenzahl mit

$$\frac{50 \times 60}{5} = 600.$$

Nehmen wir an, der Motor habe eine Schlüpfung von 3%, so wird seine faktische Tourenzahl $600 - 18 =$ **582** betragen.

Ein Drehstrommotor hat eine große Anzugskraft, aber, wie wir gesehen haben, nur eine bestimmte Umlaufsgeschwindigkeit, die sich nur schwer variieren läßt. Die Änderung derselben kann entweder durch Einschaltung von Widerständen in den Primärstrom be-

werkstelligt werden, was aber auf Rechnung der Leistung geht, oder auch teilweise dadurch, daß man in dem Stator entweder alle oder nur einige Spulen jeder Phase einschaltet, wodurch also die Polzahl geändert wird; sind alle Pole eingeschaltet, so ist die Geschwindigkeit am kleinsten. Schließlich kann der Anlaßwiderstand so hergestellt werden, daß man mit demselben ebenfalls eine Tourenregulierung vornehmen kann. Diese letztere Methode wird in neuester Zeit häufig praktiziert und wird eine bis 25%ige Regulierung erzielt.

Parallelschaltung von Generatoren.

Wie man zwei verschiedene Wasserläufe zu einem einzigen Strom vereinigen kann, so ist dies unter gewissen Bedingungen auch mit den elektrischen Strömen möglich.

Nehmen wir die Fig. 181 zur Hand; wir haben hier zwei Gleichstromdynamos D_1 und D_2, welche mittels der zweipoligen Schalter a_1 b_1, beziehungsweise a_2 b_2 an die Sammelschienen S angeschlossen werden können. Unter welchen Bedingungen kann dies erfolgen? Nehmen wir an, D_1 vollführe bereits ihren normalen Lauf, habe hierbei eine Spannung von 450 Volt, und sei an die Sammelschienen mittels ihres Schalters a_1 b_1 angeschlossen. Dieselbe Spannung wird demnach zwischen den Schalterkontakten A_2 B_2 herrschen, denn bis dorthin kann ja der Strom von der ersten Maschine gelangen. Wird nun Maschine D_2 angelassen und ebenfalls auf die Spannung von 450 Volt einreguliert, so herrscht eine ebensolche Spannung auch zwischen den Hebelenden a_2 b_2; schließt man die Schalterkontakte a_2 A_2 oder b_2 B_2 mittels eines Voltmeters, so wird dasselbe Null anzeigen, oder mittels einer Glühlampe, so wird dieselbe dunkel bleiben, weil eben eine Gegenschaltung vorhanden ist. Man kann also in diesem Augenblicke auch den Hebel a_2 b_2 zuschalten, so daß auch D_2 Strom in

die Sammelschienen S abgibt. Würde man den Hebel a_2 b_2 zuschalten, wenn D_2 noch nicht die Spannung von D_1 hätte, so würde wegen des Überdruckes der letzteren Strom in die Maschine D_2 fließen und dieselbe könnte unter Umständen bedeutend gefährdet werden.

Vor der erstmaligen Parallelschaltung ist darauf zu achten, daß der Anschluß der Pole an die Sammelschienen ein richtiger ist, d. h. an die eine Schiene sind die beiden positiven, an die andere die negativen Pole der Maschinen anzuschließen.

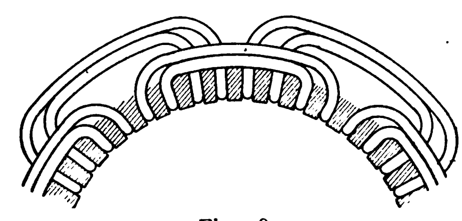


Fig. 180.

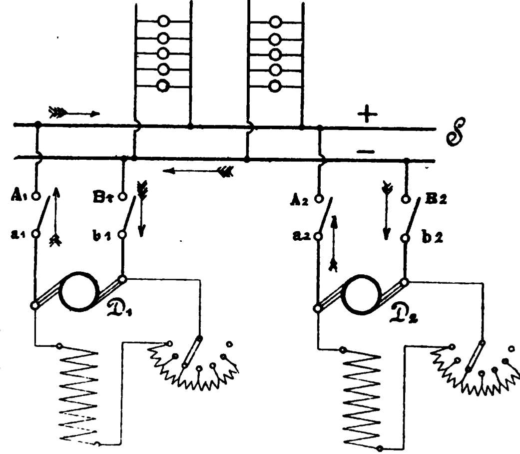


Fig. 181.

Am geeignetsten für den Parallelbetrieb sind die Nebenschlußmaschinen. Die Spannung im Netz ist gleich der einfachen Maschinenspannung, die Stromstärke gleich der Summe der Stromstärken der beiden Maschinen.

Etwas komplizierter ist die Vornahme der Parallelschaltung von zwei Drehstromgeneratoren.

Hier ist nicht nur allein die Spannung auf gleiche Höhe zu bringen, sondern die Maschinen müssen außerdem genau die gleiche Periodenzahl besitzen und im

Augenblicke des Zuschaltens müssen sie genau gleiche Phase haben, d. h. die Wellenlinien der korrespondierenden Phasen müssen sich genau mit ihren Wellenbergen und Wellentälern decken. In allen anderen Fällen tritt eine teilweise oder gänzliche Vernichtung der Wechselströme ein. Die Sache wird leicht erklärlich, wenn wir uns die Sinuslinien zweier gleicher, einfacher, gleich starker Wechselströme so aufzeichnen,

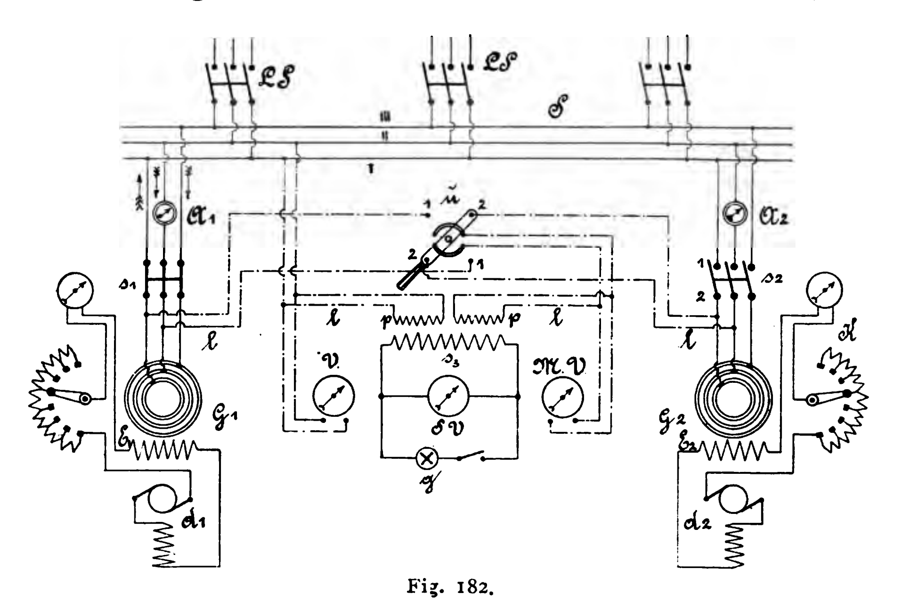


Fig. 182.

daß dieselben gegeneinander verschoben sind. Beträgt diese Verschiebung genau eine halbe Periode, so kommt ein Wellenberg genau über einem Wellental zu liegen, also ein positiver über einem gleich starken negativen Strom, und die Summe beider wird Null.

In Fig. 182 haben wir das Schaltungsschema zweier parallel zu schaltender Generatoren vor uns. *G* sind die Anker, *E* die Feldmagnete, *d* die Erregerdynamos. Wird nun der Generator G_1 angelassen, und der Maschinen-

schalter s_1 geschlossen, so fließt der erzeugte Strom in die Sammelschienen S, und zwar wenn wir einen gewissen Zustand der Phasen ins Auge fassen, in der soeben gezeichneten Richtung. Die Spannung zweier Phasen in den Sammelschienen wird von dem sogenannten Stationsvoltmeter V angegeben; dasselbe zeigt also immer Spannung an, gleichgiltig ob nur eine oder beide Maschinen an das Netz angeschlossen sind.

Nun wollen wir den zweiten Generator zuschalten. Die gleich hohe Spannung erhalten wir durch Regulierung der Erregung der Feldmagnete E; wie erfahren wir aber, daß auch die Tourenzahlen beider Maschinen übereinstimmen und daß dieselben gleiche Phase besitzen? Wir wollen vorerst nur eine einzige Phase betrachten, beispielsweise I. Wir schalten wieder zwischen die Kontakte 1, 2, des Hebels s_2, eine oder mehrere hintereinander angeordnete Glühlampen, je nach der Klemmenspannung der Maschinen ein. Wenn nun die beiden Maschinen in gleicher Phase sind, so daß eine Gegenschaltung vorhanden ist, bleibt die Lampe dunkel; sind sie dagegen um eine halbe Periode auseinander, so daß die Spannungen eigentlich nicht gegeneinander, sondern in derselben Richtung verlaufen, so werden die Lampen hell aufleuchten. Schwankt die Phasenverschiebung zwischen dem Grenzwert einer halben Periode, so werden die Lampen flackern, und zwar um so mehr, je mehr die Tourenzahlen beider Maschinen von einander abweichen. Durch Änderung der Dampfzufuhr wird nun auf die Phasengleichheit hingearbeitet; je langsamer das Flackern der Lampen vor sich geht, um so mehr nähern sich die Maschinen ihrer Phasengleichheit. Was für eine Phase nun gelten mag, ist auch ebenso für die anderen zwei giltig. Man könnte an alle drei Phasen des Schalters s_2 Glühlampen schalten, so daß bei richtigem Anschluß an die Sammelschienen alle drei Gruppen gleichzeitig aufleuchten und gleichzeitig wieder erlöschen. In dem Momente eines länger anhaltenden Dunkelwerdens kann der Hebel s_2 zugeschaltet werden.

Nun ist aber diese Methode insoferne nicht ganz zuverlässig, als ja Glühlampen schon früher, bevor die

Spannung noch Null geworden ist, dunkel werden. Viel zuverlässiger ist jene Methode, wobei ein helles Leuchten der Lampen als ein Zeichen für die Phasengleichheit gilt.

Praktisch wird daher die Sache beispielsweise folgend ausgeführt: Vor den Maschinenschaltern werden von je zwei gleichnamigen Phasen Abzweigungen l zu einem Umschalter U geführt, der mit einem Voltmeter MV in Verbindung steht, so daß man imstande ist, jeden Augenblick durch entsprechende Umschaltung die Spannung der einen oder der anderen Maschine abzulesen. Befindet sich beispielsweise die Maschine G_1 im normalen Lauf, so wird ihre Spannung vom Stationsvoltmeter V angegeben; läßt man G_2 an, so kann man auf dem Voltmeter MV (Maschinenvoltmeter) ebenfalls die Spannung derselben beobachten und mit V vergleichen, wodurch man beide Maschinen auf die gleiche Spannung zu bringen vermag.

Zur Bestimmung des Synchronismus beider Maschinen ist nun ein kleiner Transformator vorhanden (über dessen Zweck und Wirkungsweise wir noch später sprechen werden), welcher zwei primäre Spulen pp und eine sekundäre Spule s_3 enthält. Die ersteren sind in Verbindung mit den Zuleitungen zu den Voltmetern V und MV. Die Sekundärspule enthält in ihrem Stromkreis eine Glühlampe g, mit einem zur letzteren parallel geschalteten, sogenannten Synchronvoltmeter SV. Der Transformator hat den Zweck, die höhere Spannung der Maschine auf eine einfache Glühlampenspannung zu überführen. Die eine Primärspule steht also, wie man aus der Zeichnung leicht ersehen kann, mit den Sammelschienen (also mit der einen Maschine), die andere vermittels des Umschalters mit der anderen parallel zuzuschaltenden Maschine in Verbindung.

Befinden sich nun beide Maschinen in gleicher Phase, so wirken die Primärspulen in derselben Richtung auf die Sekundäre induzierend ein und der in ihr erzeugte Strom wird daher seine höchste Spannung erreichen, so daß die Lampe g hell aufleuchtet; gleichzeitig damit schlägt natürlich das zu ihr parallel eingeschaltete Synchronvoltmeter aus.

Sind hingegen die Maschinen noch nicht in gleicher Phase, so wird die Lampe flackern und das Synchronvoltmeter pendeln, und zwar wieder um so rascher, je mehr die Maschinen in der Phase auseinander sind.

Der Vorgang beim Parallelschalten von zwei Drehstromgeneratoren ist also, kurz wiederholt, folgender:

Vorerst wird der Generator G_1 in normalen Gang versetzt und womöglich schon durch Einschaltung der Linienschalter *L S* durch die äußeren Verbrauchsapparate belastet. Nun läßt man den zweiten Generator G_2 mit voller Tourenzahl an, versetzt den Umschalter in die gezeichnete Stellung, also auf die Kontakte *2*, *2*, und reguliert im Bedarfsfalle die Erregung der Feldmagnete der Maschine G_2 mittels des Rheostaten *K* solange ein, bis das Maschinenvoltmeter *M V* gleiche Spannung mit dem Stationsvoltmeter *V* hat. Sieht man nun an der eingeschalteten Glühlampe *g*, daß dieselbe noch stark flackert, so laufen die beiden Maschinen noch nicht synchron, und es muß der Dampfregulator der zuzuschaltenden Maschine solange verstellt werden, wobei gleichzeitig die Übereinstimmung der Spannungen überwacht wird, bis die Lampe sehr langsam an Lichtstärke zunimmt und bis sie einige Zeit ruhig leuchtet, wobei der Zeiger des Synchronvoltmeters ebenfalls auf der markierten Stellung längere Zeit ruhig verharrt; dann kann der Schalter der Maschine G_2 zugeschaltet werden.

Nun arbeiten beide Maschinen auf ein gemeinschaftliches Netz und es ist nunmehr noch notwendig, die Maschinenampèremeter A_1, A_2 zu vergleichen, ob die beiden Maschinen auch gleichmäßig belastet sind. Gewöhnlich wird dies bei der zugeschalteten Maschine nicht der Fall sein; man muß daher durch weitere Regulierung der Dampfzufuhr die Belastung auf beide Maschinen gleichförmig verteilen.

Werden Maschinen im unbelasteten Zustande parallel geschaltet, so laufen sie gewöhnlich sehr unruhig, weil die Dampfregulatoren ihre Regulierfähigkeit noch nicht so recht entfalten können, und es ist ein Parallelschalten überhaupt schwer möglich. Daher muß immer schon eine gewisse Belastung vorhanden sein.

Das Abschalten erfolgt umgekehrt wie das Zuschalten. Man verstellt vorerst den Dampfregulator, bis das Ampèremeter beinahe auf Null herabsinkt, wobei gleichzeitig auch der Erregerstrom reguliert wird. Ist das Ampèremeter auf Null oder sehr nahe bei Null, so ist der betreffende Maschinenschalter rasch auszuschalten; nun erst wird der Dampf abgesperrt.

Macht man letzteres früher, ohne noch den Schalter abgeschaltet zu haben, so läuft die betreffende Maschine mit voller Tourenzahl weiter, wobei das Ampèremeter der anderen Maschine eine bedeutende Stromstärke aufweist. Sie nimmt von der anderen Maschine Strom auf und läuft als Synchronmotor weiter mit.

Einiges über den Betrieb der elektrischen Maschinen.

Wie jeder andere, so ist auch der elektrische Betrieb mit verschiedenen Störungen behaftet.

Die allererste Sorge beim Eintritt einer solchen Störung wird in den meisten Fällen sein, mittels der uns bekannten Galvanometer zu untersuchen, ob nicht irgendwo die erforderliche leitende Verbindung gestört ist. Die Störungen sind sehr verschiedenartig; im folgenden mögen einige von ihnen angeführt werden.

Es kann geschehen, daß eine Gleichstrommaschine nicht angeht, d. h. daß sie bei voller Tourenzahl keine Spannung liefert. Der Grund liegt häufig darin, daß sie ein äußerst schwaches remanentes magnetisches Feld besitzt, was insbesondere dann sehr leicht vorkommen kann, wenn man die Dynamomaschine an einen anderen Ort gebracht hat oder wenn sie vorher auseinander genommen wurde, wobei aus Versehen nicht die richtige Klemmenverbindung wieder hergestellt wurde, so daß beim darauffolgenden Anlassen der entstehende Strom den bereits vorhandenen remanenten Magnetismus infolge von Umpolarisierung zerstört. Abhelfen kann man bei Serienmaschinen dadurch, daß man mit einem kurzen

Drahtstück die beiden Maschinenklemmen für kurze Zeit verbindet, wenn die Maschine ihre volle Tourenzahl macht.

Bei Nebenschlußmaschinen muß der äußere Stromkreis abgeschaltet und der Regulierwiderstand kurz geschlossen werden, wodurch ihre Magnete am stärksten erregt werden.

Bei diesen letzteren Maschinen kann es auch vorkommen, daß sie bei eingeschaltetem äußeren Stromkreise deshalb nicht angehen, weil irgendwo draußen ein zufälliger Kurzschluß vorhanden ist. Um sich davon zu überzeugen, schaltet man denselben einfach aus, und wartet, ob die Maschine dann auf ihre Spannung kommt. Geschieht dies nicht, muß man eine Unterbrechung oder einen Kurzschluß in der Maschine selbst vermuten.

Bei Hauptstrommaschinen hingegen kann ein Nichtangehen darin liegen, daß der äußere Stromkreis offen ist.

Häufig liegt auch der Grund des Nichtangehens darin, daß eine Verbindung in der Ankerwicklung nicht genügend fest oder ganz unterbrochen ist, was beispielsweise in einer mangelhaften Lötung oder Verschraubung zwischen den einzelnen Spulen und dem Kollektor liegen kann.

Häufig wird eine Spule im Anker besonders warm, und macht sich dieser Zustand durch einen sehr bald auftretenden Brandgeruch bemerkbar. Die starke Erwärmung dieser Spule hat jedenfalls ihren Grund in einem zu kräftigen Strome, der durch einen Kurzschluß in derselben bedingt ist. Derselbe wird oft zwischen zwei benachbarten Lamellen dadurch gebildet, daß sich gröberer Metallstaub in die Isolation einsetzt oder sich beim Nachdrehen des Kollektors oder beim Schlichten desselben mit der Feile ein Metallspan in die Isolation zwischen zwei benachbarte Segmente eingebettet hat und diese leitend verbindet. Der Fehler äußert sich auch gewöhnlich in einem starken Funken an den betreffenden Lamellen.

Es ist demnach ein besonderes Augenmerk auf die Reinheit des Ankers zu richten. Der in denselben während des Betriebes eingezogene Metallstaub muß häufig mittels Pinsel und Blasebalg sorgfältig entfernt werden.

Ist eine Dynamomaschine oder insbesondere ein Motor in der Grube längere Zeit außer Betrieb gewesen, so geschieht es leicht, daß die Baumwollumspinnung der Wicklungen, trotzdem sie mit einem Schellacküberzug versehen ist, sehr viel Luftfeuchtigkeit in sich aufnimmt. Fließt nun plötzlich durch dieselben der entsprechende Strom, so schlägt die Isolation durch und die Wicklung wird zum mindesten schadhaft, falls sie nicht gänzlich zugrunde geht. Es muß daher vor dem ersten Anlassen die Wicklung gründlich getrocknet werden, was am einfachsten dadurch geschieht, daß man die Maschine wenigstens einige Stunden hindurch unter niedrige Spannung stellt und sie leer laufen läßt.

Einer der wichtigsten und empfindlichsten Bestandteile, von welchem häufig der gute und tadellose Gang einer Gleichstrommaschine abhängt, ist der Kollektor oder Kommutator derselben. Es muß ihm stets die größte Aufmerksamkeit gewidmet werden! Die allererste Bedingung ist Sauberkeit. Der Kollektor muß während des Betriebes immer metallisch glänzend, nicht verschmutzt oder schmierig aussehen; er muß immer vollkommen rund sein, also keine Unebenheiten oder Furchen, sowie Brandflecke zeigen. Zu diesem Behufe werden nach jedem Stillstande die Bürsten abgehoben, die Maschine in mäßige Drehung versetzt, und der Kollektor mit über einem Holzstück gewickeltem Glaspapier blank abgeschliffen. Ich verwende bei meiner kleinen Nebenschlußmaschine seit längerer Zeit mit Vorteil Karborundumpapier. Nimmt man zum Abschleifen nacheinander immer feinere Stärkegrade desselben, so ist der Kollektor wie poliert. Nach jedesmaligem Abschmirgeln wird derselbe mit einem reinen Lappen oder Putzwolle rein abgewischt.

Die Bürsten werden von Zeit zu Zeit herausgenommen und in Benzin gut gewaschen.

Die Verwendung eines jeden Schmiermittels für den Kollektor halte ich nicht für zweckmäßig. Fett und Öle sind ja doch, wie wir wissen, Isolatoren, warum also dieselben zwischen Bürsten und Kollektor absichtlich einschieben? Das beste ist, den Kollektor recht

blank, sauber und rund zu erhalten, so daß die Bürsten nicht übermäßig stark angedrückt werden müssen, was auch ein grober Fehler ist, und der Kommutator wird sich dann gewiß nie stark erwärmen. Wenn man schon denselben schmieren will, so genügt es, einen oder zwei Tropfen reines Öl auf demselben mittels eines Lappens zu verreiben.

Man vermeide es womöglich, den Kollektor während des Betriebes, wenn die Bürsten angelegt sind, mit Glas- oder gar mit Karborundumpapier zu schleifen!

Die abgerissenen Glas- oder Karborundumsplitter bleiben besonders in geblätterten oder Kupfergazebürsten stecken und in kürzester Zeit ist der Kollektor mit oft ziemlich tiefen Furchen besetzt. Wird während eines länger andauernden Betriebes derselbe unrein, so putzt man ihn mittels eines in Benzin getauchten Lappens.

Nach einer längeren Betriebsdauer wird es notwendig, den Kommutator mit einer Feile abzurunden, um kleine Unebenheiten einzelner Lamellen zu beseitigen, was während des Umlaufes bei abgehobenen oder ganz entfernten Bürsten geschieht. Ist dies mit einer Feile nicht mehr möglich, so muß der Kommutator abgedreht werden. Bei großen Maschinen wird ein eigens zu diesem Zwecke hergerichtetes Support auf irgend eine Weise an oder neben dem Maschinengestelle befestigt und der Anker in sehr langsame Umdrehung versetzt. Bei kleineren Maschinen nimmt man den Anker heraus und besorgt das Abdrehen des Kollektors auf der Drehbank.

Bei jedem Herausnehmen, Transport usw. ist mit dem Anker höchst vorsichtig umzugehen; er darf weder direkt mit einer Wicklung auf einen harten Boden gelagert noch darf der Kommutator mit den Lamellen auf eine Unterlage gelegt werden. Die Lagerung desselben außerhalb der Maschine hat immer durch Unterstützung der Wellenenden auf zwei Holzböcken zu geschehen.

Eine sehr häufig auftretende Erscheinung bei Gleichstrommaschinen ist eine übermäßig starke Funkenbildung zwischen Bürsten und Kollektor. Funken

sind immer vorhanden; sie dürfen jedoch nicht über die Berührungsfläche der Bürsten mit den Segmenten heraustreten. Um so weniger dürfen glühende Partikelchen oder gar Feuergarben mit dem Kollektor mitlaufen!

Der Ursachen dafür gibt es einige.

Die Bürsten müssen womöglich mit voller Tangentialfläche und mäßigem Drucke auf dem Kollektor aufliegen. Sind kleine Unebenheiten auf dem letzteren, so geraten die Bürsten in kleine hüpfende Bewegungen, wodurch Funken unter denselben Bedingungen gebildet werden, wie bei einem Ausschalter. Daher muß der Kollektor, wie schon einmal gesagt, vollständig rund sein.

Häufig werden durch eine unsachgemäße Behandlung der Maschine oder Handhabung des Betriebes ein oder mehrere Brandflecken auf dem Kollektor erzeugt, die, wenn sie nicht durch sofortiges Abschmirgeln beseitigt werden können, immer größer werden und eine immer stärkere Funkenbildung im Gefolge haben. Diese tritt insbesondere dann ein, wenn einer Dynamomaschine plötzlich ein starker Strom entnommen oder einem Motor ein solcher zugeführt wird. Die Begründung liegt im folgenden:

Die Berührungsstellen der Bürsten mit dem Kommutator müssen einander genau diametral gegenüberliegen. Eine falsche Bürstenstellung in dieser Hinsicht verursacht eine starke Funkenbildung. Vollführt eine Maschine ihren Leerlauf, so stehen die Bürsten am günstigsten auf denjenigen Lamellen, zu welchen der genau in der Mitte zwischen zwei Polschuhen befindliche Ankerdraht führt. Wird nun die Maschine belastet, so wird das homogene magnetische Feld wegen der Ankerrückwirkung aus seiner Symmetrie in der Drehrichtung des Ankers gedreht und die Bürsten geben Funken. Es müssen daher dieselben in der Drehrichtung ebenfalls verschoben werden, und zwar so lange, bis die geringste Funkenbildung eintritt.

Eine falsche Bürstenstellung hat außerdem eine Abnahme der Klemmenspannung bei Generatoren und eine Verringerung der Tourenzahl bei Motoren zur Folge. Bei den letzteren muß man die Bürsten der Dreh-

richtung entgegen verschieben, um sie auf die geringste Funkenbildung einstellen. Als allgemeine Regel gilt, daß bei Generatoren die unter die Polschuhe gerade einlaufenden Ankerdrähte durch die zugehörigen Lamellen mit den Bürsten in Verbindung stehen sollen, wenn die Maschine belastet ist; bei Motoren gilt dies von den auslaufenden Drähten. Je mehr eine Maschine belastet ist, eine umso größere Verschiebung ist auch notwendig. Bei größeren Schwankungen der Stromentnahme muß man daher immer rechtzeitig die Bürsten in die richtige Lage nach vorne oder rückwärts verschieben, weil eine falsche Bürstenstellung für den Kollektor und häufig auch die Ankerwicklung eine schädliche Erwärmung zur Folge hat.

Bürsten, Bürstenhalter, Bolzen, kurz alle Verbindungen, die als Anschluß zur Weiterleitung der Elektrizität dienen, müssen metallisch blank und gegeneinander fest angezogen werden, um eine möglichst innige leitende Verbindung zu erzielen.

Zum Zwecke einer gleichmäßigen Abnutzung des Kollektors müssen die gegenüberliegenden Bürsten so gestellt werden, daß der von der einen Bürste freigelassene Teil am Kollektor von der anderen gedeckt wird. Die Summe der Bürstenbreiten ist deshalb immer größer als die Kollektorbreite. Es ist ferner ganz vorteilhaft, die Bürsten öfter längs ihres Bolzens um einige Millimeter in irgend einer Richtung zu verschieben, also auch in der Längsrichtung der Lamellen.

Eine ungleichmäßige Magneterregung hat ebenfalls eine Funkenbildung zur Folge, so zwar, daß die eine Bürste stärker feuert als die gegenüberliegende. Der Grund liegt darin, daß der eine Magnetschenkel infolge eines Fehlers mehr Strom hat wie der andere. Die weniger belastete Spule ist im Vergleiche zu den anderen normal belasteten Spulen gewöhnlich viel kühler anzufühlen, was ein Zeichen für die ungleichmäßige Erregung sämtlicher, zusammengehöriger Spulen abgibt.

Schließlich kann ein Funken dadurch verursacht werden, daß die Maschine eine abnormal größere Tourenzahl macht, so daß bei normal eingehaltener Spannung

der Magnetismus der Feldmagnete wegen einer Verringerung des erregenden Stromes verkleinert wird. Bei Motoren mit stark regulierbarer Tourenzahl muß schon vom Konstrukteur auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden. Deswegen findet man in Fachzeitschriften häufig inseriert: „Motoren mit veränderlicher Umlaufszahl", als patentierte Spezialität mancher Firmen. Bei schlecht konstruierten Motoren tritt daher bei größeren Tourenschwankungen trotz guter Behandlung eine Funkenbildung ein.

Über Drehstrommaschinen ist nicht viel zu sagen, denn besonders bei den modernen, sehr einfachen und dabei sehr soliden Generatoren tritt seltener eine Betriebsstörung ein. Tritt eine solche in der Erregermaschine auf, so wird natürlich auch der Generator stromlos.

Da die Erregermaschinen entweder als Hauptstrom- oder als Nebenschlußmaschinen ausgeführt sind, so werden eventuell in ihnen auftretende Fehler von ganz derselben Art sein, wie wir sie bereits vorher besprochen haben. Der von diesen Maschinen erzeugte Gleichstrom gelangt in die Magnetbewicklung des Magnetrades, und zwar durch zwei, auf der Magnetradwelle isoliert angebrachte, große Schleifringe, auf welchen die entsprechenden Bürsten schleifen. Was wir bezüglich der Sauberkeit bei Kollektoren hervorgehoben haben, gilt auch hier bei den Ringen. Damit während des Betriebes die Erregung nicht unterbrochen wird, falls man genötigt ist, eine der Bürsten für kurze Zeit abzuheben, befinden sich auf jedem Schleifringe mindestens zwei gleiche Bürsten. Es kann vorkommen, daß eine Magnetspule fehlerhaft wird. Ist eine längere Betriebsstörung, bedingt durch das Auswechseln der Spule, nicht statthaft, so wird dieselbe einfach ausgeschaltet und die neben ihr befindlichen Spulen miteinander verbunden; durch etwas mehr Stromzufuhr in die intakten Spulen wird wieder die volle Spannung des Generators erreicht. Hat man mehrere oder alle Spulen abgenommen und wieder eingesetzt, ist insbesonders darauf zu achten, daß dieselben wieder richtig miteinander verbunden

werden, so daß bei der darauffolgenden Erregung abwechselnd Nord- und Südpole aufeinander folgen.

Der Anker bei Drehstromgeneratoren ist ruhend; seine Wicklung ist stark und solid in die Blechpaketnuten eingelagert und es ist daher eine Unterbrechung in der Wicklung kaum jemals zu befürchten. Eher kann schon ein sogenannter Kupferschluß, das ist die metallische Berührung zweier Wicklungen und eine bedenkliche Erwärmung der betreffenden Stelle eintreten.

Eine andere unerwünschte Verbindung, die im feststehenden Anker (Stator) vorkommen kann, ist der sogenannte Eisenschluß; es ist dies die direkte Berührung eines entblösten Ankerdrahtes mit dem Gestelle. Die Folge davon ist, daß dasselbe mit Elektrizität geladen wird. Sobald jemand, der mit der Erde in Verbindung steht, dasselbe berührt, fließt sie durch seinen Körper zur Erde ab, er bekommt einen elektrischen Schlag. Nun sind aber insbesonders Wechselströme dem menschlichen Leben sehr gefährlich. Man beugt einem solchen Unglück schon von Hausaus ein für allemal vor, wenn man das Eisengestell gut erdet.

Die Generatoren haben entweder Stern- oder Dreieckschaltung; man versuche die Frage zu beantworten, was mit den zwischen allen drei Phasen gleichmäßig verteilten Glühlampen geschieht, wenn bei der einen oder anderen Schaltungsart eine Phase unterbrochen wird?

Bei Drehstrommotoren sind Störungen viel seltener als bei Gleichstrommotoren. Es kann vorkommen, daß ein solcher Motor nicht angehen will. Mißt man bei offenem Stromkreis des Rotors die Spannungen zwischen den drei Schleifringen, so wird man finden, daß dieselben bei fehlerhaftem Motor nicht gleich groß sind. Mißt man ferner beim Anlassen die Stromstärken der eintretenden drei Phasen, so werden dieselben ungleich ausfallen; der Anlaufstrom wird übermäßig groß, so daß oft die vorgelegten Sicherungen nicht Stand halten und eine von ihnen gewöhnlich abschmilzt. Der Grund liegt sehr oft darin, daß in der Abzweigung von der Hauptleitung in einer der Phasen ein mangelhafter Kontakt

ist. Es sind also in solchen Fällen vor allem anderen alle Verbindungsstellen in den Leitungen nachzusehen. Tritt in einer Phase eine Unterbrechung während des Betriebes eines Motors ein und ist derselbe nicht stark belastet, so läuft er unter starkem Brummen mit verringerter Tourenzahl weiter.

Insbesonders Motore haben häufig nur aus Konkurrenzrücksichten einen sehr kleinen Spielraum zwischen Feld und Anker. Die Maschine wird dadurch bei gleicher Leistung viel kleiner und daher billiger. Es ist dies anscheinend ein großer Vorteil, der aber nicht übers Maß getrieben werden soll; besonders bei Drehstrommotoren fällt durch Verringerung des Luftzwischenraumes der Leistungsfaktor sehr günstig aus. Infolge des Verschleißes der Lagerschalen nähert sich einseitig der Rotor dem Stator in einem solchen Maße, daß ein gegenseitiges Schleifen aufeinander und demzufolge eine unheilvolle Havarie des Motors eintreten kann. Es ist deshalb notwendig, bei solchen Maschinen den Luftzwischenraum in gewissen Zeiträumen genau mittels eigener Luftraummesser nachzumessen und rechtzeitig die Lager mittels Beilagen zu heben oder die Lagerschalen auszuwechseln!

Nach einem länger andauernden Betriebe erwärmen sich die Maschinen infolge der Umwandlung eines Theiles der elektrischen Energie in Wärmeenergie. Diese Erwärmung darf eine bestimmte Höhe nicht überschreiten; als allgemeine Regel gilt, daß die Erwärmung irgend eines Teiles der Maschine 40° C. über die umgebende Lufttemperatur nicht übersteigen darf. Die Messung geschieht mittels eigens hierfür hergestellter Thermometer. Wenn die Wicklungen längere Zeit hindurch während des Betriebes einer größeren Erwärmung ausgesetzt sind, so verkohlt die Isolation derselben nach und nach, wird spröde und bröckelt sich insbesonders bei rotierenden Windungen schließlich ab. Es bedürfen daher insbesonders Motore einer reichlichen Luftzufuhr zu allen sich erwärmenden Teilen. Infolge der größeren Geschwindigkeiten besorgen sich die Motore in der Regel die Ventilation selbst, nur darf man ihnen die

nötige Luftzufuhr nicht abschneiden. Steht der Motor beispielsweise in einem warmen Grubenraume, so muß dieser mittels Lutten oder dergleichen reichlich mit frischen Wettern versorgt werden. Noch ausgiebiger beugt man einer übermäßigen Erwärmung vor, wenn man eine frische Wetter zuführende Lutte in der allernächsten Nähe des Motors zu einem großen Trichter ausbildet und ihn gegen diejenige Seite des Motors zuwendet, welche wie ein Ventilator die Wetter einzieht. Auf diese Weise werden die Wicklungen direkt vom frischen, kühlen Winde bestrichen.

Bei Schalttafeln für größere Maschinen, wo also auch größere Stromstärken vorkommen, sind die Anschlüsse an die Schalter, an die Fassungen der Schmelzsicherungen usw. durch eingeschliffene Kegel, die mittels Schrauben in ihren Hülsen fest angezogen werden, ausgeführt. Die eine oder die andere Schmelzsicherung schmilzt auf einmal wiederholt ab; man sucht jedoch vergeblich im Leitungsnetz nach einem Kurzschluß! Dabei ist gewöhnlich die Anschlußverbindung an die Fassung der Sicherung sehr heiß. Der Grund liegt darin, daß entweder durch tausende von kleinen Erschütterungen die Anzugschrauben gelockert sind, oder daß der Konus selbst durch atmosphärische Einflüsse oxidiert und auf seiner Kontaktfläche an Leitungsvermögen eingebüßt hat. Der hierdurch entstandene größere Leitungswiderstand bringt dann eine so starke Erhitzung der betreffenden Stelle mit sich, daß die gewöhnlich eingekapselte Sicherung durch diese Hitze zum Abschmelzen gebracht wird. In solchen Fällen muß die Verbindungsstelle metallisch rein geputzt und wieder fest angezogen werden.

Es ist daher im allgemeinen notwendig, alle Kontakte, Schraubenverbindungen usw. von Zeit zu Zeit nachzusehen, blank zu machen und wieder gut anzuziehen!

Selbstinduktion.

Jeder vom Strom durchflossene Leiter hat bekanntlich um sich herum einen Kraftlinienwirbel, also ein magnetisches Feld. Wird nun der Leiter von einem Wechselstrom durchflossen, so ändert sich fortwährend die Intensität des um den Draht wirbelnden magnetischen Feldes, was zur Folge hat, daß in einer anderen daneben befindlichen Windung eine eigene *EMK* und zwar die sogenannte *EMK* der Selbstinduktion hervorgerufen wird.

Beim Ansteigen der Wellenlinie zu ihrem Höchstwerte gleichgiltig ob oberhalb oder unterhalb der Abszissenachse, wobei also immer mehr Kraftlinien ins Feld treten, ist die *EMK* der Selbstinduktion der primären *EMK* in den Leitungen selbst entgegengerichtet. Es taucht also eine primäre Gegen-*EMK* auf.

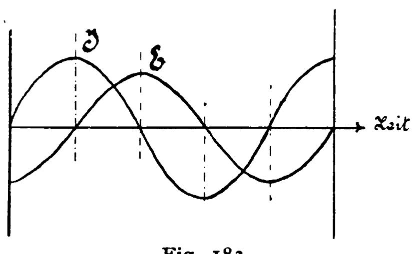


Fig. 183.

Die Folge davon ist eine Schwächung der primären *EMK* durch die letztere, so daß also nicht sofort diejenige Strommenge durch den Draht fließt, welche dem Ohmschen Gesetze entsprechen würde, sondern daß der Strom erst nach und nach diesen Wert erreicht. Es bleibt also die Stromstärke hinter der Spannung zurück (Fig. 183), wodurch die Arbeitsleistung in dem betreffenden, von der Selbstinduktion behafteten Wechselstromapparat verringert wird, und zwar umsomehr, je mehr sich diese Verschiebung einer Viertelperiode nähert.

Die Selbstinduktion ist abhängig von der Periodenzahl des Wechselstromes und von der Stromintensität: Bei geraden Leitungen oder bei eisenkernfreien Solenoiden mit nur wenigen Windungen ist die Selbstinduktion eine nur geringe; bei Spulen, insbesondere bei

solchen mit Eisenkern, nimmt sie oft einen bedeutenden Wert an.

Es bewirkt somit die Selbstinduktion einen sogenannten scheinbaren Widerstand, denn gegenüber einem Gleichstrom ist für ein und dieselbe Leistung beim Wechselstrom ein scheinbar größerer Stromverbrauch erforderlich. Auf einen Wechselstrom mit Selbstinduktion läßt sich daher das einfache Ohmsche Gesetz nicht mehr anwenden.

Die Selbstinduktionswirkung wird verwendet, wo es sich darum handelt, ein plötzliches Ansteigen der Stromstärke zu vermeiden. Das hierzu nötige Instrument heißt eine Drosselspule. Sie besteht aus einer Spule mit vielen Drahtwindungen, deren Eisenkern geblättert ist, d. h. aus sehr dünnen Blechen, welche an den beiden Enden umgebogen sind.

Anwendung der Drosselspule bei Bogenlampen, ferner bei Isolationsmessungen an elektrischen Anlagen, wenn ein Gleichstrom über einen Wechselstrom gelagert wird.

Eine weitere sehr ausgedehnte Verwendung findet die Selbstinduktion zum Schutze von elektrischen Anlagen gegen Blitzschläge.

Der Blitz ist ein ungeheurer elektrischer Funke, der infolge der Entladung zweier Wolken oder einer Wolke und irgend eines geladenen Gegenstandes entstanden ist. Nun hat man durch Versuche und Beobachtungen die Überzeugung gewonnen, daß eine jede solche Entladung eines hochgespannten Stromes durch die Luft nicht auf einmal geschieht, sondern daß der elektrische Funke, wie wir ihn wahrnehmen, aus einer ganzen Reihe von Funken besteht, weil während der Entladung ein oftmaliger Wechsel der Stromrichtung erfolgt. Es ist demnach der Entladungsfunke als ein Wechselstrom mit einer ungemein großen Periodenzahl aufzufassen. Wir wissen aber bereits, daß die Selbstinduktion beim Wechselstrom mit der Periodenzahl zunimmt.

Es wird also der in eine Drahtleitung einschlagende Blitz, respektive der Wechselstrom mit der immensen

Periodenzahl auch eine starke Gegen-*EMK* hervorrufen und der unwillkommene vom Himmel kommende elektrische Strom auf einen großen Widerstand stoßen, also in einem solchen Falle trachten, lieber auf einem kürzeren, bequemeren Wege zur Erde zu gelangen. Diesen Umstand nun benützt der Elektrotechniker und schafft durch Anbringung einer aus wenigen Windungen ohne Eisenkern bestehenden Induktionsspule in der zu schützenden Leitungsgruppe den nötigen Widerstand. Gleichzeitig wird vor dieser Spule ein 2—8 *mm* langer Luftweg (Spalt) zur Erde geschaffen. Derselbe besteht (Fig. 184) aus zwei auf Porzellanisolatoren angebrachten, gegenüberstehenden Hörnern aus Kupferdraht, einen Luftspalt bildend. Das eine Horn ist mit dem einen Leitungsdraht, das andere mit der Erde leitend verbunden.

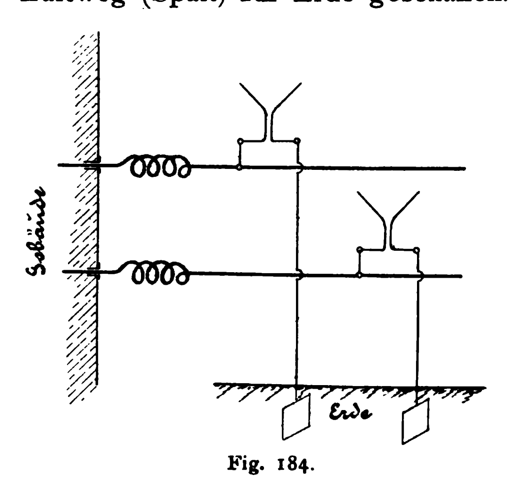


Fig. 184.

Schlägt nun in eine der Luftleitungen der Blitz ein, so erfährt er in der Induktionsspule infolge der ungemein großen Selbstinduktion einen sehr hohen Widerstand; er wird gestaut und nimmt daher den weit bequemeren, mit Rücksicht auf seine hohe Spannung, sehr geringen Luftweg zwischen den Hörnern, d. h. er springt zur Erde über.

Selbstinduktionsströme entstehen also im allgemeinen dann, wenn um die Leiter herum ein Anwachsen von Kraftlinien erfolgt. Dies ist also unter anderen auch beim Gleichstrom der Fall, wenn derselbe zugeschaltet wird. Die plötzlich ins Feld tretenden magnetischen Kraftlinien erzeugen in den Nachbardrähten eine Selbst-

induktionsspannung, welche der Primärspannung entgegen wirkt, und daher verhindert, daß der Strom sofort mit derjenigen Intensität durchfließt, die nach dem Ohmschen Gesetze vorhanden sein sollte.

Eine Änderung in der Intensität des magnetischen Kraftlinienfeldes tritt aber auch dann ein, wenn ein Gleichstrom ausgeschaltet wird. Der Leiter ist beim Abschalten noch von seinem eigenen verschwindenden Kraftliniensystem umgeben. Es wird daher in demselben eine Spannung induziert, welche genau in der Richtung der primären *EMK* verläuft. Es summieren sich daher die beiden gleichgerichteten Ströme, wodurch also der jetzt verschwindende Primärstrom bedeutend verstärkt wird.

Um die Selbstinduktion bei Meßinstrumenten zu beseitigen, werden die Spulen derselben bifilar (d. i. zweifädig) gewickelt. Es wird zu diesem Zwecke die ganze Länge des aufzuwickelnden Drahtes in der Mitte umgelegt; man wickelt dann die beiden nebeneinander befindlichen Hälften auf einmal in demselben Sinne auf. Dadurch wird erzielt, daß die eine Hälfte der Wicklung die gleich große, aber entgegengesetzte Wirkung hat wie die andere, wodurch sie sich in ihrer Wirkung nach Außen gegenseitig aufheben.

Bei Messungen mit einem feineren Galvanometer verwendet man, wenn in dem zu messenden äußeren Stromkreis Induktionsströme zu gewärtigen sind, zwei Taster. Mit dem einen werden vorerst alle Hilfsapparate und der äußere Stromkreis geschlossen, und erst dann wenn sich die Selbstinduktion verlaufen hat, wird mittels des anderen Tasters das Galvanometer angeschlossen. (Universlwiderstandskasten von Siemens & Halske.)

DieSelbstinduktion bewirkt ferner die Entstehung von oft sehr beträchtlichen sogenannten Öffnungsfunken, wie solche beim Öffnen eines Schalters auftreten, da sich wie uns bekannt, primäre und Selbstinduktionsspannung beim Abschalten addieren.

Da die Summe der genannten zwei Spannungen bei größeren Maschinen oft eine recht bedeutende wird, so kann sehr leicht ein Durchschlagen der Drahtisolation ein-

treten. Um demnach die Dauer der plötzlich auftretenden großen Spannung auf eine möglichst kurze Zeit herunter zu drücken, bekommen die Ausschalter besondere Konstruktionen, wodurch beim Ausschalten momentan sehr große Wege zwischen den Schalterkontakten entstehen, so daß der sich bildende Funke rasch und sicher abreissen muß. Ein weiteres Mittel gegen die Bildung von großen Induktionsströmen beim Abschalten siehe magnetische Funkenblasspulen.

In diesem Kapitel haben wir also, kurz wiederholt, folgendes kennen gelernt:

Die Selbstinduktionsströme sind in einzelnen geraden Leitern praktisch unbedeutend, beträchtlich in Spulen und am stärksten in solchen mit eingeschobenem Eisenkern.

Die Selbstinduktionsspannung wächst mit der Windungszahl der Spule, mit der primären Stromstärke (Kraftlinienzahl) und mit der Periodenzahl.

Der Selbstinduktionsstrom wirkt im Hauptstrom wie ein Widerstand, da er die Änderungen in demselben verzögert.

Beim Schließen wird der Primärstrom geschwächt, beim Öffnen verstärkt.

Da hier von unbeabsichtigten Nebenströmen schon die Rede ist, so dürfte es auch am Platze sein, uns in Kürze wenigstens mit noch einer anderen Entstehungsart von solchen Strömen bekannt zu machen, weil wir beim elektrischen Grubenbetrieb im Sinne der Sicherheitsvorschriften oft genötigt sind, mit Rücksicht auf persönliche Sicherheit ihnen eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Befindet sich neben einem vom Strome durchflossenen ein anderer stromfreier, mit demselben nicht leitend verbundener Leiter k (Fig. 185) und führt ersterer beispielsweise positive Elektrizität, so wird, da nach unserer Vorstellung jeder Körper auf der Erde mit einer gleichen Menge + und — Elektrizität geladen ist, in unserem Falle die — Elektrizität in k möglichst gegen l gezogen, die + zum entgegengesetzten Ende hin abgestoßen.

Wenn man nun plötzlich den Leiter *k* mit der Erde in leitende Verbindung bringt, so wird die + Elektrizität zur Erde abfließen, die — hingegen wird in dem Leiter so lange gebunden bleiben, so lange sich in *l* ein Strom befindet. Hört letzterer auf, so kann durch eine abermalige Erdverbindung die nunmehr freie negative Elektrizität ebenfalls zur Erde abfließen. Stellt beidemale zufällig diese sukzessive Verbindung ein Mensch durch Berührung her, so kann er unter Umständen von dem abfließenden Strome an seinem Leben stark gefährdet werden.

Da die Elektrizität ruhig auf dem Leiter bleibt, wenn keine Erdverbindung besteht, so heißt sie ruhende, d. i. statische Elektrizität und der durch sie hervor-

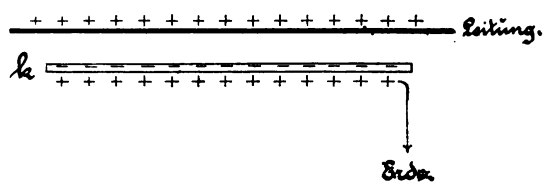


Fig. 185.

gerufene eigenartige Zustand des Leiters die statische Ladung. Letztere entsteht also immer dann, wenn sich auf einem isolierten Leiter eine gewisse Elektrizität ansammelt.

Diese Ansammlung geschieht durch elektrostatische Induktion, die speziell in diesen Fällen Influenz genannt wird (influere = hineinströmen).

Influenz ist also die Einwirkung eines mit Elektrizität geladenen Leiters auf einen anderen durch einen Nichtleiter hindurch. In unserem vorher geschilderten Beispiel war dieser Nichtleiter die Luft. Es können aber auch andere Nichtleiter zwischen den beiden Leitern sein, und es wurde durch Versuche nachgewiesen, daß die statischen Ladungen von dem verwendeten Material beeinflußt werden. Diese nichtleitenden Zwischenmittel heißen dielektrische Körper und man sagt auch, der

isolierte Leiter habe eine Spannung durch dielektrische Wirkung erhalten.

Der isolierte Leiter ist also imstande, durch Influenz eine bestimmte Elektrizitätsmenge aufzunehmen; er besitzt also eine bestimmte Aufnahmefähigkeit oder Kapazität.

Ein solches zusammenhängendes System, wo zwei Leiter durch ein Diëlektrikum von einander getrennt sind, und wo nur der eine von Elektrizität durchflossen wird, ist ein Bleikabel. Bekanntlich besteht dasselbe aus einer Kupferseele, die als eigentliche Nutzstromleitung dient, ferner aus isolierenden Gummiumhüllungen oder dgl., die wieder mit einem wasserdichten, nahtlosen Bleimantel umgeben sind. Häufig besitzt letzterer abermals eine asphaltierte Jutteumhüllung, über welcher sich ein Eisenpanzer befindet, der das Kabel gegen mechanische Verletzungen schützen soll. Die letztgenannte Hülle heißt die Kabelarmierung.

Es ist nun leicht ersichtlich, daß die Kupferseele nichts anderes ist als unser Draht l, die Gummischicht um diese herum das Diëlektrikum, und Bleimantel und Eisenpanzerung der andere Leiter k, welcher mit statischer Elektrizität geladen wird, sobald die Kupferseele vom Primärstrome durchflossen wird.

Um nun die Armierung von solchen statischen Ladungen, welche die Sicherheit der Personen bei zufälliger Berührung gefährden könnten, zu befreien, wird dieselbe geerdet.

Einen Gegenstand im Sinne der Sicherheitsvorschrift erden heißt, ihn mit der Erde derart verbinden, daß er eine für unisoliert stehende Personen gefährliche Spannung nicht annehmen kann.

Transformatoren.

Der hochgespannte Wechselstrom hat einen großen Übelstand, daß er nämlich sehr häufig nicht direkt verwendet werden kann, da er insbesondere für die Sicherheit des Betriebes und der Personen sehr gefährlich ist.

Da kommt uns die Induktionswirkung desselben sehr zu gute, indem man mit Hilfe derselben den hochgespannten Wechselstrom leicht in einfachen, ruhenden Apparaten in einen solchen von niederer Spannung umwandeln, d. i. also zu transformieren vermag und zwar mit Hilfe eines sogenannten Transformators.

Derselbe besteht der Hauptsache nach aus einem aus dünnen Weicheisenblechen hergestellten, in sich selbst geschlossenen Kern, über welchen zweierlei, miteinander in gar keiner leitenden Verbindung stehende Spulen gewickelt sind. Die eine Gruppe der gleichartigen, hintereinander geschalteten Spulen wird von dem hochgespannten, zu transformierenden Strome durchfloßen (Primärspulen); in der anderen Gruppe wird durch die induzierende Wirkung des Primärstromes eine andere *EMK* und ein Strom induziert. Diese Gruppe von Spulen heißen die Sekundärspulen. Fig. 186 führt uns die prinzipielle Skizze eines Transformators vor, wie solche anfangs gebaut wurden.

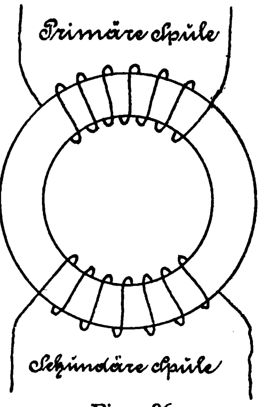


Fig. 186.

Wird Wechselstrom in die primären Spulen eingelassen, so magnetisiert er den Eisenring; die Feldstärke desselben nimmt also ebenso zu und ab, als der Strom Wechsel macht. So oft aber ein magnetisches Feld seine Intensität ändert, wird in den Sekundärspulen eine *EMK* induziert.

Die Frage, wie groß diese ist, ist sehr leicht zu beantworten: Die Spannungen von Primär- und Sekundärstrom verhalten sich beinahe genau so wie die Windungszahlen. Der Konstrukteur hat es also vollständig in der Hand, dem Transformator jedes gewünschte Umsetzungsverhältnis zu geben. Bei den Wechselstrommotoren haben wir etwas ähnliches kennen

gelernt, nur hatten wir dort für die Primär- und Sekundärwicklungen getrennte Eisenkerne.

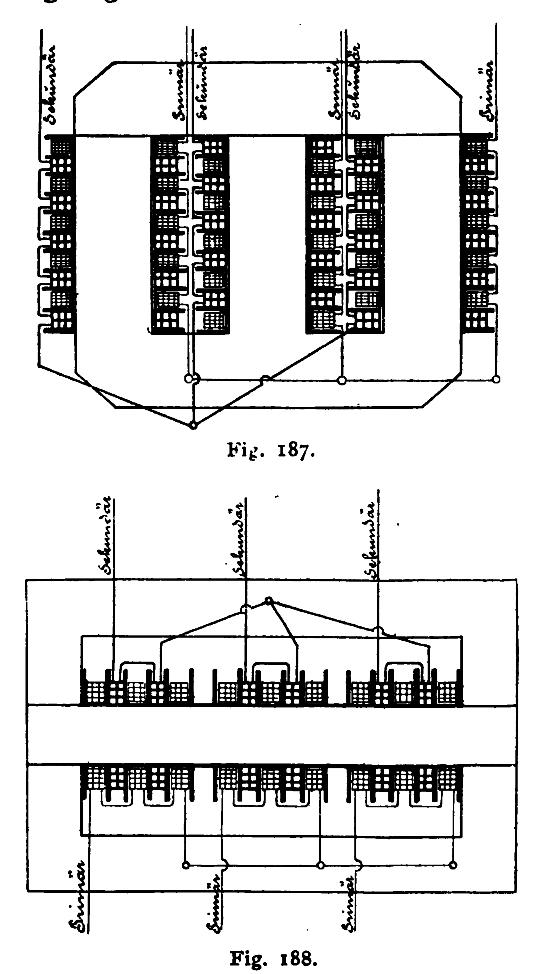


Fig. 187.

Fig. 188.

Solange der Sekundärkreis offen ist, fließt in den Primärspulen nur der sogenannte Magnetisierungstrom,

oder auch der wattlose Strom genannt, weil Spannung und Stromstärke in der Phase gegeneinander verschoben, und daher nicht imstande sind, Arbeit zu leisten. Sobald aber der sekundäre Stromkreis geschlossen wird, fließt in demselben ein Strom, was zur Folge hat, daß sofort auch die primären Spulen entsprechend mehr Strom aufnehmen. (Dasselbe wie bei den Motoren.)

Die Transformatoren sind gewöhnlich so gebaut, daß in ihnen Strom von hoher Spannung und geringer Stromstärke in einen solchen von geringer Spannung und großer Stromstärke umgeformt wird.

Bezüglich der Bauart unterscheidet man: Kerntransformatoren und Manteltransformatoren.

Die prinzipielle Form eines Kerntransformators stellt uns Fig. 187 vor, und zwar für einen dreiphasigen Wechselstrom. Derselbe besteht aus gabelförmig ausgeschnittenen, aneinander gepreßten dünnen Blechen mit Papierzwischenlagen, so daß hierdurch drei Kerne entstehen; jeder ist für eine Phase bestimmt. Auf jeden Kern sind nun, wie aus der Figur durch verschiedene Ausführung ersichtlich gemacht wurde, abwechselnd die primären und sekundären Spulen nacheinander aufgeschoben. Selbstverständlich müssen dann die Verbindungen so hergestellt werden, daß in jeder Phase für sich alle primären und anderseits alle sekundären Spulen richtig hintereinander geschaltet werden. Die Anfänge der drei Primär- und auch der Sekundärspulen führen zu Anschlußklemmen; die Enden sind je in einem Knotenpunkt vereinigt.

Die freien Enden der drei Kerne sind mittels eines ebenfalls aus dünnen Blechen bestehenden Joches magnetisch geschlossen; dasselbe wird mittels Schrauben gegen die glatt bearbeiteten Enden angezogen, um den Luftzwischenraum möglichst gering zu machen. Wir wissen ja, daß Luftzwischenräume, und wenn sie auch weniger als $^1/_{10}$ *mm* betragen, dem Durchgange der Kraftlinien einen ungemein großen Widerstand entgegensetzen.

Fig. 188 stellt uns die Form eines Manteltransformators dar. Die drei Spulengruppen der einzelnen

Phasen sind nebeneinander auf einem gemeinschaftlichen Kern aufgesteckt. Um nun wieder einen magnetischen geschlossenen Kraftfluß zu bekommen, werden von beiden Seiten gegen die noch freien Enden des Kernes hufeisenförmige Jochstücke festgedrückt. Die Spulen sind somit auch nach außen hin größtenteils gleichsam wie mit einem Mantel umgeben, wodurch sie gegen mechanische Beschädigung von Außen geschützt sind.

Wie man also aus der kurzen Beschreibung ersieht, ist der Transformator einer der denkbar einfachsten und doch in der Wechselstromtechnik einer der wichtigsten Apparate, denn ohne denselben würde der Praktiker oft in arge Verlegenheit kommen. Er bedarf gar keiner Wartung, seine Erhaltungskosten sind soviel wie Null und er braucht wenig Platz. Ruhig und unauffällig verrichtet er irgendwo in einem Winkel unter der Decke seine Umformungsarbeit und der Laie ahnt gar nicht, welchen Wohltäter er dort oben hat, der ihn vor den Gefahren eines hochgespannten Stromes schützt.

Elektrische Arbeit. Vergleich derselben mit mechanischer und Wärmearbeit.

Unsere Aufgabe war es bisher gewesen, uns mit den Gesetzen und der Verwendung der allerjüngsten Naturkraft, mit der Elektrizität, respektive mit dem Elektromagnetismus bekannt zu machen. Das Endziel einer jeden Erkenntnis einer Naturkraft besteht besonders in unserer bewegten und hastenden Zeit darin, so rasch und so viel als möglich jede Entdeckung praktisch auszunutzen. Da es sich in unserem Falle um eine Kraft handelt, so verlangen wir von ihr, daß sie für uns Arbeit leistet.

Daß die Elektrizität auch Arbeit verrichtet, haben wir schon bei Besprechung der Motoren gesehen, denn

wir können von der Welle derselben mechanische Arbeit abnehmen; wie ist nun die elektrische Energie, die wir in den Motor aus dem Generator schicken, entstanden? Aus der Wärmearbeit, die wir durch Verbrennung von Kohlen erhalten.

Mechanische, elektrische und Wärmearbeit sind miteinander äquivalent, d. i. gleichwertig. Es ist dies wie in einem Kaufmannsladen: Für ein gewisses Geldstück bekomme ich entweder ausschließlich eine gewisse Menge Waren, oder ich bekomme nur teilweise Ware und teilweise Kleingeld heraus, so daß ich nach dem Verlassen des Ladens ebenso vermögend bin, wie früher.

Bei den Naturkräften gilt der Grundsatz: „Nichts von ihnen geht verloren". Verrichtet man eine Arbeit, so entsteht hierdurch eine andere, ihr gleichwertige; inwieweit sie aber unseren Zwecken direkt nützt, ist eine andere Frage. Und eben diese zu beantworten, bildet bei uns Praktikern die Hauptfrage und dazu sind Messungen unumgänglich notwendig.

Die Messung der physikalischen Größen geschieht nach dem absoluten Maßsystem, das von Gauß und Weber aufgestellt wurde, und wobei als Grundeinheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde gewählt sind; man schreibt ***C. G. S.***-System.

Will ich einen Körper bewegen, so muß ich hierzu Kraft aufwenden. Nach den Begriffen der Mechanik versteht man unter **Kraft** das Produkt aus der bewegten Masse und der Beschleunigung, welche sie von der Kraft erfährt.

Beschleunigung ist die Geschwindigkeitszunahme des bewegten Körpers pro Sekunde.

Die Einheit der Kraft ist also diejenige, welche der Einheit der Masse die Beschleunigung Eins in der Sekunde erteilt; also nach dem *C. G. S.*-System jene Kraft, welche der Masse eines Grammes die Beschleunigung von 1 *cm* in einer Sekunde erteilt. Diese Einheit wird eine **Dyne** genannt (nach dem Griechischen Dynamis = Kraft). Alle Körper sind schwer; um nun ihre Schwere gegenseitig vergleichen, d. i. messen zu

können, wurde eine internationale Gewichtseinheit, das Kilogramm = 1000 *g* festgesetzt; es ist dies die Masse eines Platiniridiumstückes, das im Pariser Archiv aufbewahrt ist.

Die Kraft eines Kilogrammes nun ist gleich seiner Masse, multipliziert mit der Beschleunigung, welche ihr von der Anziehungskraft der Erde erteilt wird, wenn man sie frei fallen läßt. Ein freifallender Körper erhält eine Beschleunigung von 981 *cm* pro Sekunde, daher ist die Kraft eines Kilogrammes gleich

$$981 \times 1000 = 981.000 \text{ Dynen},$$

und somit die eines Grammes gleich 981 Dynen.

Wenn nun eine Kraft auf einen Körper eine gewisse Zeit hindurch einwirkt, so leistet sie **Arbeit.**

Wenn demnach die Kraft von einer Dyne auf einen Körper von 1 *g* 1 Sekunde hindurch einwirkt, und denselben gerade 1 *cm* weiter bewegt, bekommt man die Arbeitseinheit, die mit dem Namen **Erg** bezeichnet wird. In der Technik wird als Arbeitseinheit das Kilogrammmeter angenommen; es ist daher ein Kilogrammeter im absoluten Maßsystem gleich

$$981\,000 \text{ Dynen} \times 100\ cm = 98\,100\,000 \text{ Erg}.$$

Je kürzer nun die Zeit ist, in welcher eine bestimmte Arbeit verrichtet wurde, um so effektvoller hat die Kraft gearbeitet und man nennt daher das Verhältnis der geleisteten Arbeit zur aufgewendeten Zeit den **Effekt der Kraft.** Die absolute Einheit des Effektes ist also diejenige, bei welcher die Einheit der Arbeit in der Einheit der Zeit geleistet wurde, also ein Erg in einer Sekunde. Diese Einheit ist für in der Praxis vorkommende Effekte zu klein und es wurde daher durch Vereinbarung festgesetzt, das Zehnmillionenfache eines Erg als Einheit zu wählen und hat dieser den Namen **ein Watt** gegeben. Bei diesem werden also 10,000.000 Erg in der Sekunde geleistet. 1000 Watt nennt man 1 Kilowatt = *KW.*

Der Techniker ist bisher noch gewöhnt, den Effekt von Maschinen nach Pferdestärken = *PS* anzugeben. Es

fragt sich also, wieviel Watt hat eine *PS*? Unter einer Pferdekraft versteht man denjenigen Effekt, der erzielt wird, wenn man 75 *kg* in einer Sekunde 1 *m* hoch hebt oder was dasselbe ist, es ist die Arbeit von 75 *kgm* in der Sekunde. Es ist aber

$$1\ kgm = 98{,}100.000\ \text{Erg} = 9{\cdot}81\ \text{Watt}$$

daher eine Pferdekraft

$$\mathbf{PS = 9{\cdot}81 \times 75 = 735{\cdot}75\ \text{rund}\ 736\ \text{Watt.}}$$

Nun handelt es sich darum, mittels der soeben definierten Einheiten die Leistungen des Magnetismus und der Elektrizität zu messen.

Magnetische und elektrische Kräfte hängen innig in ihren Wirkungen zusammen, und es wird daher für die Bestimmung der Stromstärke von derjenigen Kraft ausgegangen, welche ein elektrischer Strom auf eine Magnetnadel ausübt.

Als Einheit der Stromstärke wurde auf dem internationalen Kongreß im Jahre 1881 diejenige festgestellt, welche jener Strom hat, der auf einem Kreise von 1 *cm* Radius einen Zentimeter in der Sekunde verlaufend, auf einen im Mittelpunkte befindlichen magnetischen Einheitspol mit der Kraft einer Dyne einwirkt.

Unter dem magnetischen Einheitspole ist derjenige zu verstehen, welcher einen gleichen Pol in der Entfernung von 1 *cm* mit der Kraft einer Dyne anzieht oder abstößt.

Diese absolute Einheit der Stromstärke war jedoch für die Praxis zu groß, und man ist deshalb weiters übereingekommen, den zehnten Teil derselben als praktische Einheit, nämlich das **Ampère** einzuführen. Sobald der elektrische Strom sich in einer Leitung fortbewegt, ist er imstande, eine Arbeit zu leisten; er besitzt also einen bestimmten Effekt, eine Arbeitsfähigkeit. Bei einer Flüssigkeit ist diese Arbeit gleich der Menge des Wassers mal dem Gefälle, also dem Überdruck. Ebenso ist es auch bei der Elektrizität. Wir wissen, daß dieselbe in der Leitung infolge eines Überdruckes, Potentials, oder wie wir einfach sagen, infolge einer Spannung

weiterbewegt wird. Es wird also die Einheit der Spannung oder der *EMK* diejenige sein, welche, wenn sie einen Strom von der Stärkeeinheit durch einen Stromkreis treibt, die Einheit des Effektes hervorbringt. Da wir für praktische Zwecke für die Effekteinheit das Watt angenommen haben, so wird als Einheit der *EMK* diejenige gelten, welche, wenn sie ein Ampère durch einen Stromkreis treibt, hierbei die Effekteinheit erzeugt. Diese Einheit der *EMK* wurde ein **Volt** benannt.

Daher ist

$$1 \text{ Ampère} \times 1 \text{ Volt} = 1 \text{ Watt}.$$

Wir wissen aber, daß 1 $PS = 736$ Watt ist; daher ist

$$1 \text{ Ampère} \times 1 \text{ Volt} = \frac{1}{736} PS$$

Beispiel: Wenn man an den Klemmen einer Dynamomaschine eine Spannung von 450 Volt hat und wenn gleichzeitig das Ampèremeter während des Betriebes 100 Ampère anzeigt, so werden im Netz

$450 \times 100 = 45000$ Watt oder 45 Kilowatt oder $\frac{45000}{736} \cong 61\ PS$ verbraucht.

Wir haben in der Praxis häufig Gelegenheit, uns davon zu überzeugen, wenn auch manchmal nicht gerade in der angenehmsten Weise, daß der elektrische Strom in den Leitungen Wärme erzeugt. Dieselbe ist infolge von elektrischer Arbeit entstanden, um die selbstverständlich der betreffende, hinter der Leitung befindliche Verbrauchsapparat weniger bekommt. Leitungen, Spulen etc. werden nach längerem Betriebe oft bedeutend erwärmt, bleiben jedoch auf einer gewissen Höhe der Temperatur stehen, ein Zeichen, daß die Elektrizität eine gewisse konstante Arbeit verrichtet hat; diese ist äquivalent, d. i. gleichwertig einer mechanischen Arbeit; denn wäre die Erwärmung nicht, so würde in den Versuchsapparat mehr Strom, also Arbeit eintreten.

Als Wärmeeinheit gilt bekanntlich die **Kalorie,** d. i. jene Wärmemenge, welche notwendig ist, um 1 *g*, beziehungsweise 1 *kg* Wasser um 1° C. zu erwärmen.

Einer Kalorie entspricht eine mechanische Arbeit von 424 *kg*, d. h.

$$\frac{\text{1 Kilogramm-Kalorie}}{\text{1 Kilogramm-Meter}} = 424.$$

Ein Watt erzeugt 0.00024 Kalorien.

Ein Watt ist daher auch gleich

0.00024 × 424 = 0.1018 *kgm*; dieser Ausdruck ist aber nichts anderes als der reziproke Wert von 9·81; also ist

$1 \text{ Watt} = \frac{1}{9{\cdot}81}$ *kgm*, also nichts anderes als das schon früher Erläuterte.

1 Kilogramm-Kalorie = 424 Meter-Kilogramm = 1000 Gramm-Kalorien

$$= 424 \times 9{\cdot}81 \text{ Watt}$$
$$= 4159{\cdot}44 \text{ Watt pro Sekunde.}$$

Wie groß wird nun die von einem bestimmten elektrischen Strom geleistete Arbeit sein?

$$1 \text{ Meter-Kilogramm} = \frac{1000}{424} \text{ Gramm-Kalorien}$$

$$\mathbf{1\ Watt} = \frac{1}{9{\cdot}81} = \frac{\frac{1000}{424}}{9{\cdot}81} = \mathbf{0{\cdot}24} \text{ Gramm-Kalorien.}$$

Die von einem elektrischen Strome geleistete Wärmearbeit ist demnach gleich

$T = 0{\cdot}24 \times e \times i$; da nun $e = i \times w$, so ist

$\boldsymbol{T = 0{\cdot}24 \times i^2 \times w}$.

An der Hand eines Beispieles wollen wir in die Sache näher eindringen.

1. Der Kohlenfaden einer Glühlampe wird durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht; es entsteht Wärme, die durch die Glasbirne ins Freie ausstrahlt. Die gangbarsten Glühlampen sind jene für 110 Volt Spannung; dabei verbraucht eine Lampe 0·509 Amp.

Frage: Wenn wir eine solche leuchtende Lampe ins Wasser tauchen, beispielsweise in 1 Liter, nach welcher Zeit dürfte es den Siedepunkt erreichen? Vorausgesetzt sei, daß das Wasser eine Anfangstemperatur von 15^0 C. habe.

Die Lampe verbraucht

$$0{\cdot}509 \times 110 \cong 56 \text{ Watt}$$

Das Wasser braucht, um von 15^0 auf 100^0 C. gebracht zu werden 1×85 Kalorien.

Da 1 Kilogramm-Kalorie $= 4159{\cdot}44$ Watt pro Sekunde ist, so braucht das Wasser bis zum Siedepunkt:

$$4159{\cdot}44 \times 85 = 353{\cdot}552 \text{ Sekunden Watt.}$$

Die Lampe verbraucht, und gibt daher auch pro Sekunde 56 Watt ab; somit sind zur Erzielung der obgenannten Anzahl von Watt

353552 : 56 = 6313 Sekunden oder 105·2 Minuten theoretisch erforderlich, also zirka $1^3/_4$ Stunden.

2. Durch einen 50 *m* langen, 1 *mm* starken Kupferdraht senden wir einen Strom von 50 Amp.; wie stark wird sich derselbe erwärmen?

Der Widerstand des Drahtes berechnet sich mit $1{\cdot}115\,\Omega$ (siehe: Über Leitungswiderstände).

Die vom Strome erzeugte Wärmemenge muß gleich der vom Drahte ausgestrahlten sein. Diese letztere ist aber abhängig: von der Oberfläche des Drahtes πd und seiner Länge l, ferner von einem sogenannten Ausstrahlungs-Koeffizienten k, also es muß

$t k \pi d l = i^2 w$; k für Kupfer $= 0{\cdot}0018$

t ist die erreichte Temperatur

d der Durchmesser des Drahtes in *cm*

l die Länge desselben in *mm*

$$t = \frac{i^2 w}{k \pi d l} = \frac{50^2 \times 1{\cdot}115}{0{\cdot}0018 \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}1 \times 50000} = 102^0.$$

In ähnlicher Weise kann man sich die Aufgabe stellen, zu berechnen, wie stark höchstens ein bestimmter Drahtquerschnitt mit Strom belastet werden darf, damit seine Erwärmung eine gewisse Temperatur nicht überschreite.

Ferner: Man versuche zu berechnen, wie stark ein Bleidraht von 80 *mm* Länge sein muß, damit er bei einer gegebenen Strombelastung, wenn diese um 10% überschritten wird, abschmelze.

Arbeitsleistung der Wechselströme.

Bei Wechselströmen haben wir es, wie schon kennen gelernt, mit Selbstinduktion zu tun, so daß die Wellenbewegung des Stromes verzögert wird, und somit die Phasen von Strom und Spannung nicht koinzidieren. Ein jeder Wechselstrommotor ist stark mit Selbstinduktion behaftet.

Ein Motor gibt an der Welle nie jene mechanische Leistung ab, die er in Form von elektrischer Arbeit an den Klemmen aufnimmt. Das Verhältnis beider nennt man den Wirkungsgrad.

Wenn man einen Drehstrommotor anläßt und einerseits an seiner Welle die von ihm abgegebene mechanische Arbeit bestimmt, anderseits am Volt- und Ampèremeter abliest, und aus diesen Ablesungen die Leistung berechnet, so wird man finden, daß letztere gegen die an der Welle abgenommene viel größer ist, so daß der Wirkungsgrad sehr gering erscheint.

Es hat einem gleich starken Gleichstrommotor gegenüber den Anschein, als ob der Drehstrommotor viel schlechter arbeiten würde.

Wir wissen aber, daß Wechselstrommotoren stark mit Selbstinduktion behaftet sind und daß diese die Leistung des Stromes bedeutend verringert. Der vom Instrument angezeigte effektive Stromverbrauch ist an und für sich richtig, ebenso die Spannung; die Wattanzahl aus dem Produkte beider ist aber eben infolge der Phasenverschiebung nicht richtig. Die Messung dieser beiden Werte (d. i. Spannung und Stromstärke), genügt bei Wechselstrommotoren demnach nicht. Es ist deshalb ein Instrument wünschenswert, welches den Wattverbrauch direkt angibt.

Ein solches Instrument besteht und heißt Wattmeter. Im Prinzipe besteht dasselbe aus einer feststehenden Spule mit wenigen Windungen eines dicken

Drahtes, durch welche der ganze Strom wie durch ein Ampèremeter durchgeht, Fig. 189. Dazu senkrecht ist eine bewegliche, aus dünnen Drähten bestehende Spule, die wie ein Voltmeter auf Spannung geschaltet ist; sie hängt auf einer Torsionsfeder. Wir wissen nun, daß stromdurchflossene Leiter aufeinander so einwirken wie Magnete; es wird also während des Stromdurchganges die dünne Spule eine Drehung ausführen, welcher die Feder entgegenwirkt. Ein solches Instrument wird nun mit Gleichstrom geaicht und gibt dann, an einen Wechsel-

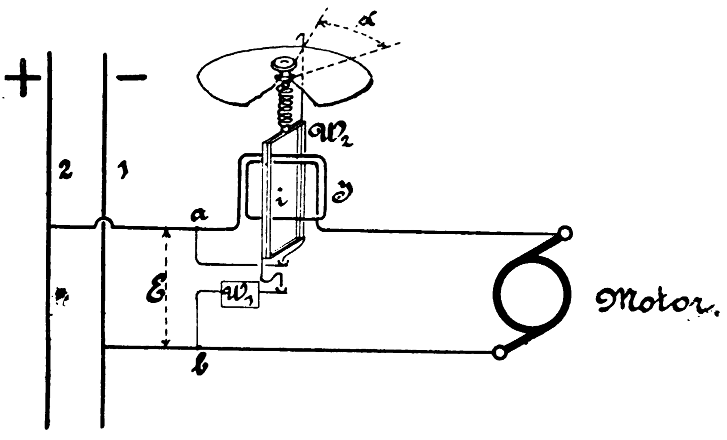


Fig. 189.

strom angeschlossen, jeden Augenblick die Watt in richtiger Weise an.

Wenn man nun in den Zuleitungen zu einem Drehstrommotor ein Volt-, ein Ampère- und ein Wattmeter einschaltet und gleichzeitig die Bremsung an der Welle vornimmt, so wird man finden, daß das Produkt aus Volt mal Ampère nicht mit der Angabe des Wattmeters übereinstimmt, sondern größer ist. Man nennt das obgenannte Produkt Volt × Ampère in einem solchen Falle den scheinbaren Wattverbrauch; was vom Wattmeter angegeben wird, den wirklichen Wattverbrauch. Dividiert

man diese beiden Ausdrücke durcheinander, nämlich den letzteren durch den ersteren, so bekommt man den sogenannten **Leistungsfaktor**, der mit dem mathematischen Zeichen $\cos \varphi$ geschrieben und auch so genannt wird. Diese Bezeichnung rührt von der Benutzung des uns schon bekannten Uhrdiagrammes her. Man kann dasselbe nämlich auch verwenden, um das Produkt *periodischer Funktionen*, also in unserem Falle eines Stromes und einer Spannung, welche gleiche Periode aber ungleiche Phase haben, algebraisch zu bestimmen; hierbei kommt hauptsächlich der cosinus des Phasenverschiebungs-

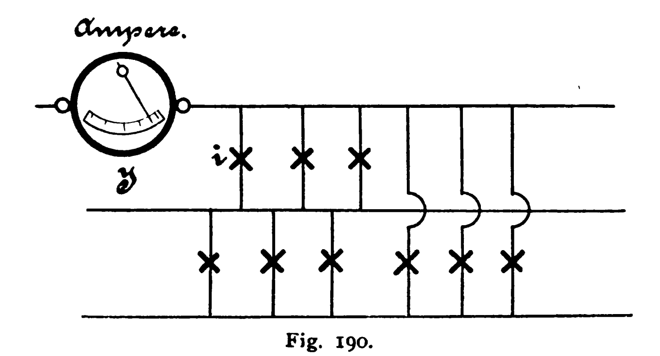


Fig. 190.

winkels in Betracht, daher auch die trigonometrische Bezeichnung im Sprachgebrauch.

Bei Drehstrom haben wir kennen gelernt, daß bei Sternschaltung, welche vorwiegend bei Generatoren Verwendung findet, die Klemmenspannung gleich der Phasenspannung ist; hingegen ist die Stromstärke in einer Leitung $i \times \sqrt{3}$, daher i, die Stromstärke einer

Phase $= \dfrac{I}{\sqrt{3}}$.

Die Leistung aller drei Phasen wird daher sein:

$$3\,i\,E = \frac{3\,I\,E}{\sqrt{3}} = I\,E\sqrt{3}.$$

Das ist die Leistung einer induktionsfreien Belastung; bei Vorhandensein von Selbstinduktion muß man noch mit dem Leistungsfaktor $\cos\varphi$ multiplizieren, also:

$$\text{Leistung} = E\,I\,\sqrt{3}\,\cos\varphi \text{ Watt.}$$

Dieser letztere Ausdruck bedeutet den wirklichen Wattverbrauch; der scheinbare ist größer.

Z. B.: Ein Drehstrommotor ergab mir an der Welle eine Leistung von 25 *PS*; die Ablesung am Ampèremeter ergab 66 Amp. bei 220 Volt Klemmenspannung.

Das gleichzeitig mit eingeschaltete Wattmeter ergab 21351 Watt (wirkliche Leistung).

Es ist also $66 \times 220 \times \sqrt{3} = 25120$ Watt; das ist die scheinbare Leistung.

$$\frac{21351}{25120} \cong 0{\cdot}85 = \cos\varphi = \text{Leistungsfaktor.}$$

An der Welle bekommt man aber an mechanischer Leistung: $25 \times 736 = 18400$ Watt; daher ist der Wirkungsgrad des Motors

$$\eta = \frac{18400}{21351} \cong 0{\cdot}86 = 86\%.$$

Glühlampen und Bogenlampen werden tunlichst gleichmäßig zwischen alle 3 Phasen geschaltet, Fig. 190, also in Dreieckschaltung. Geht durch eine Lampe die Stromstärke i, durch eine Leitung hingegen I (was ein Ampèremeter angibt), so ist $i = \frac{I}{\sqrt{3}}$; es muß also der Strom in den Zuleitungen 1·73mal so groß sein, als die erforderliche Stromstärke für eine zwischen zwei Phasen geschaltete Glühlampe beträgt.

Mit Zugrundelegung dieser Formeln können wir nun den Querschnitt von Leitungen in einem Drehstromnetz berechnen.

Wir haben bei Gleichstrom für die Berechnung des Leitungswiderstandes die Formel angewendet:

$$w = \frac{c\,2\,l}{q} \text{ oder } q = \frac{c\,2\,l}{w}.$$

In jeder Leitung erfährt der Strom von einem Ende zum anderen einen Spannungsverlust, der sich aus dem Ohmschen Gesetze ergibt:

$$e = I \times w; \quad w = \frac{e}{I}$$

diesen Wert in die obige Formel für q eingesetzt:

$$q = \frac{c\,2\,l\,I}{e} = \frac{I \times 2\,l}{54 \times e} = \frac{I\,l}{27\,e}; \quad c = \frac{1}{k} = \frac{1}{54} \text{ bis } \frac{1}{58}.$$

Statt c, dem spezifischen Leitungswiderstand ist hier im Nenner der reziproke Wert desselben, also das spezifische Leitungsvermögen eingesetzt. Man kann also zur Berechnung des Leitungsquerschnittes den Spannungsabfall benützen, der in der Regel schon gegeben ist.

Die hier abgeleitete Formel gilt auch für Wechselstrom mit induktionsfreier Belastung.

Bei Drehstrom ist der Spannungsverlust bei induktionsfreier Belastung:

$e = I \times w \times \sqrt{3}$ und bei Motorenbetrieb: $e = I \times w \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$; $\cos\varphi$ können wir im allgemeinen für die Berechnung mit 0·8 annehmen. Daraus ergibt sich der Drahtquerschnitt bei induktionsfreier Belastung:

$$q = \frac{I \times \sqrt{3} \times l \times 1}{54 \times e} \cong \frac{I \times l}{32 \times e};$$

bei induktiver Belastung:

$$q = \frac{I \times \sqrt{3} \times \cos\varphi \times l \times 1}{54 \times e} \cong \frac{I \times l}{40 \times e}$$

Zur Bestimmung des Querschnittes kann auch der Arbeitsverlust (Wattverlust) in den Leitungen benutzt werden.

Die in einer Leitung verloren gehende Arbeit $a = I^2 w$; nun ist $w = \frac{c\,l}{q}$ daher auch $a = \frac{I^2 \times c \times 2\,l}{q}$.

Der Energieverlust wird gewöhnlich in Prozenten p der zu übertragenden Arbeit A angegeben; er ist daher nach der Zinsenrechnung gleich

$a = \frac{A \times p}{100} = \frac{I^2 \times c \times 2l}{q}$; daraus $q = \frac{I^2 \times 2l \times 100}{A \times p \times 54}$ (c ist nämlich angenommen mit $\frac{1}{k} = \frac{1}{54}$) $= \frac{I^2 \times l \times 100}{A \times p \times 27}$.

Bei Drehstrom mit Motorbetrieb (Selbstinduktion! muß auf die Phasenverschiebung $\cos \varphi$ Rücksicht genommen werden. Durch eine ähnliche Berechnung gelangt man zu der endgiltigen Querschnittsformel für Drehstromleitungen, wenn der prozentuelle Wattverlust in denselben gegeben ist, die lautet:

$$q = \frac{100 \times l \times A \times c}{p \times E^2 \times \cos^2 \varphi}$$

E = verkettete Spannung oder Betriebsspannung; $\cos^2 \varphi$
ist bei einem Glühlicht $= 1 \times 1$
bei Bogenlampen zirka $= 0{\cdot}95 \times 0{\cdot}95$
bei Motorenbetrieb „ $= 0{\cdot}8 \times 0{\cdot}8$.

Beispiel: Wir wollen auf unserem Grubenholzplatz eine Zirkularsäge aufstellen; dieselbe braucht an Ort und Stelle effektiv ungefähr 9 *PS.* Sie soll an einem Orte aufgestellt werden, der sich von der Drehstromzentrale (mit 225 Volt verkettete Spannung) rund 200 *m* weit entfernt befindet. Der Leitungsverlust darf 3% nicht überschreiten.

Wie stark wird die Leitung ausfallen?

Der Verlust wird also betragen:

$$a = \frac{A \times p}{100} = \frac{9 \times 3}{100} = 0{\cdot}27\ PS.$$

In der Zentrale müssen demnach an die Leitung abgegeben werden: $9 + 0{\cdot}27 = 9{\cdot}27\ PS = 6823$ Watt.

$$q = \frac{100 \times 200 \times 6823}{3 \times 225 \times 225 \times 0{\cdot}8 \times 0{\cdot}8 \times 57} = \mathbf{24{\cdot}63}\ mm^2$$

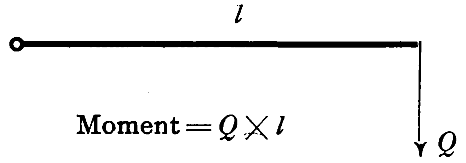
also der Durchmesser $= 5{\cdot}6\ mm$.

Bei der bisher behandelten Querschnittsberechnung von Leitungen kam der Fall vor, daß direkt von der Schalttafel immer nur ein Verbrauchsapparat oder eine

Lampengruppe zu speisen war. Die Querschnittsformel für Gleichstrom beispielsweise ist soeben oben angegeben worden

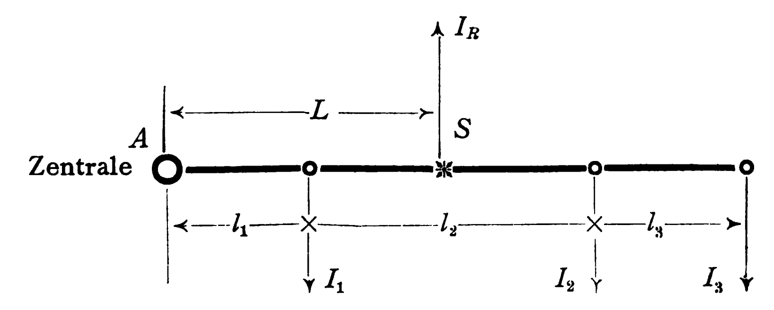
$$q = \frac{I \times l}{27 \times e}.$$

Der Ausdruck im Zähler ist hier vollkommen identisch mit dem Drehmoment einer, an einem Hebelende angreifenden Kraft:



Q ist identisch mit der Stromstärke I, denn beide stellen Belastungen vor. Man kann sich nun vorstellen, daß die Zentrale oder ein Knotenpunkt im Leitungsnetz den Drehpunkt und die durch die Leitung fließende Strommenge die Kraft in der Weise vorstellt, daß sie am Ende der Leitung wie an einem Hebel wirkt.

Ebenso wie ein Hebel von mehreren, parallel an verschiedenen Punkten desselben wirkenden Kräften angegriffen werden kann, ebenso können an einer einfachen Leitungslinie mehrere Abzweigungspunkte (Angriffspunkte) angebracht werden.



Es ist hier ein System parallel gerichteter Kräfte $I_1\ I_2\ I_3$ vorhanden, welche die Leitungslinie $(l_1 + l_2 + l_3)$

um den Punkt A zu drehen trachten. Ihnen entgegen wirkt im Punkte S eine Resultierende I_R, angreifend auf dem Hebelarm L so, daß in dem System Gleichgewicht herrscht. Die Drehmomente sind demnach:

$$I_R \times L = I_1 \times l_1 + I_2 \times (l_1 + l_2) + I_3 \times (l_1 + l_2 + l_3).$$

Da wir uns immer die einzelnen Kräfte parallel wirkend denken können, so ist

$$I_R = I_1 + I_2 + I_3; \text{ daher ist}$$

$$L = \frac{I_1 l_1 + I_2 (l_1 + l_2) + I_3 (l_1 + l_2 + l_3)}{I_R}$$

und der Leitungsquerschnitt

$$1) \quad q = \frac{[I_1 l_1 + I_2 (l_1 + l_2) + I_3 (l_1 + l_2 + l_3)] \times 2}{k \times e}$$

k = Leitungsvermögen des Drahtes = 57 bis 58
e = Spannungsabfall.

Wir können den Ausdruck für L durch Umgestaltung der Glieder anders darstellen, ausgehend von der Annahme, daß der Knotenpunkt bei I_1 von allen drei Abzweigströmen durchflossen wird, der Punkt bei I_2 nur noch von I_2 I_3 und der Punkt bei I_3 nur mehr von I_3. Danach wird

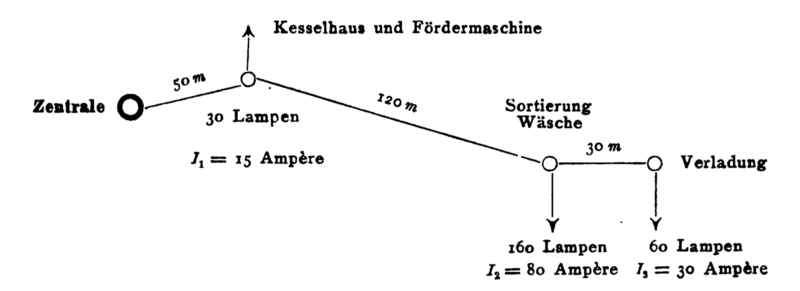
$$L = \frac{l_1 (I_1 + I_2 + I_3) + l_2 (I_2 + I_3) + l_3 I_3}{I_R}$$

$$\text{und} \quad 2) \quad q = \frac{[l_1 (I_1 + I_2 + I_3) + l_2 (I_2 + I_3) + l_3 I_3] \times 2}{k \times e}$$

L ist die sogenannte mittlere Leitungslänge der Knotenpunkte. Berechnet man sich dieselbe nach den oberen Formeln und nimmt die resultierende Kraft I_R, so kommt man zu der uns bereits früher bekannten einfachen Formel:

$$q = \frac{I_R \times 2\,L}{k \times e}.$$

Beispiel.



Der Spannungsverlust soll 10 Volt betragen.

k angenommen mit 57.

Berechnung nach 1.:

$$q = \frac{[(15 \times 50) + (80 \times 170) + (30 \times 200)] \times 2}{57 \times 10} = 71{\cdot}4\ mm^2$$

nach 2.:

$$q = \frac{[(50 \times 125) + (120 \times 110) + (30 \times 30)] \times 2}{57 \times 10} = 71{\cdot}4\ mm^2$$

Die mittlere Leitungslänge der Resultierenden

$$L = \frac{(15 \times 50) + (80 \times 170) + (30 \times 200)}{125}$$

oder

$$= \frac{(15 \times 125) + (120 \times 110) + (30 \times 30)}{125} = 162{\cdot}8\ m.$$

Die resultierende Stromstärke $J_R = 15 + 80 + 30 = 125$ Die Werte in Formel 3. eingesetzt, bekommen wir den Querschnitt

$$q = \frac{125 \times 162{\cdot}8 \times 2}{57 \times 10} = 71{\cdot}4\ mm^2$$

Wirkungsgrad.

Wenn wir eine einen Generator antreibende Dampfmaschine indizieren und gleichzeitig aus den Ablesungen am Volt- und Ampèremeter die gewonnene elektrische Arbeit bestimmen, so werden wir letztere kleiner finden als die Dampfarbeit. Es wurde beispielsweise bei der Indizierung einer Dampfmaschine gefunden, daß dieselbe 200 effektive PS leistet; der Generator lieferte in diesem Augenblicke 450 Volt und 294·4 Ampère Gleichstrom; das sind also

$$294{\cdot}4 \times 450 = 132{\cdot}48\ KW$$

die Dampfmaschine gibt ab:

$$200 \times 736 = 147{\cdot}20\ KW$$

$\frac{132{\cdot}48}{147{\cdot}20} = 0{\cdot}9$; d. h. wir bekommen von dem Effekt, den die Dampfmaschine abgibt, 90% als elektrische Arbeit wieder zurück. Diese Zahl nennt man den Wirkungsgrad der Maschine. Die übrigen 10% gingen in der Dynamomaschine verloren; sie wurden aufgewendet zur Überwindung der Lagerreibung, der Bürstenreibung und des Luftwiderstandes; ferner zur Überwindung der Hysteresis und schließlich zur Erzeugung der Fouceauldschen Ströme.

Bei einer jeden Umwandlung einer Energie in eine andere tritt eine Reihe von Verlusten auf, so daß man von der anderen Energie nie das zurückbekommt, was man bei der ersten aufgewendet hat.

Die Kenntnis der einzelnen Verluste, wie sie sich nacheinander, von der Dampfmaschinenwelle angefangen, bis zur Motorwelle ergeben, hat für uns Praktiker weniger Bedeutung; hingegen ist die Kenntnis des gesamten Verlustes, respektive des gesamten Nutzeffektes manchmal vom größten Interesse. Man nennt den soeben hier behandelten Wirkungsgrad, also das Verhältnis von abgegebener zur verwendeten (zugeführten) Energie den **kommerziellen Wirkungsgrad**. Von diesem wird der so-

genannte elektrische Wirkungsgrad unterschieden; es ist dies das Verhältnis zwischen abgegebener und zugeführter elektrischer Energie.

Nehmen wir eine Nebenschlußmaschine an: Der in den Ankerdrähten erzeugte elektrische Strom muß sofort nach seiner Entstehung die Ankerbewicklung durchfließen, bevor er in den Kollektor gelangt; da aber die Ankerdrähte einen, wenn auch geringen Ohmschen Widerstand haben, so erfährt hierdurch der Strom schon einen Verlust. Da es ferner eine Nebenschlußmaschine ist, geht ein Teil des Stromes in die Magnetbewicklungen; dieser ist für den äußeren Stromkreis verloren, also gleichfalls ein Verlust an Energie. Es wird also ein Teil des induzierten Stromes teils zur Überwindung des Ankerwiderstandes, ferner zur Überwindung des Übergangs- und Bürstenwiderstandes, sowie zur Erregung der Feldmagnete im Nebenschluß verwendet.

Bezeichnet man die unmittelbar im Anker erzeugte Energie mit *Pz*, die an den Maschinenklemmen zur Verfügung stehende Energie mit *Pa*, so ist der elektrische Wirkungsgrad der Dynamomaschine

$$\frac{P_a}{P_z} = \eta_e$$

Die im Anker erzeugte Energie P_z setzt sich aber zusammen aus der von den Maschinenklemmen abgegebenen Energie P_a und aus den obenangeführten Verlusten in der Maschine selbst. Diese sind also nach bereits Gesagtem folgende:

$I^2 W_a$ = Verlust im Anker infolge Ohmschen Widerstandes + Übergangswiderstand zu den Bürsten, + Widerstand dieser selbst bis zu den Maschinenklemmen.

$I^2_m W_m$ = Verlust in den Magnetspulen.

I ist der im Anker erzeugte Strom,

i „ „ Nebenschlußstrom in den Feldmagneten.

Es ist daher

$$P_z = P_a + I^2 W_a + i^2_m W_m$$

und daher der elektrische Wirkungsgrad der Maschine:

$$\eta_e = \frac{I_a}{P_a + I^2 W_a + i^2_m W_m}$$

Dieser Wirkungsgrad hat für uns nur mehr ein wissenschaftliches Interesse; er ist durch die Maschine bedingt und wurde schon vom Konstrukteur berücksichtigt, so daß die Maschine tatsächlich diejenige Nutzarbeit an den Klemmen abgibt, die wir bei der Bestellung verlangt haben.

Uns interessiert vielmehr der kommerzielle Wirkungsgrad. Zu diesem Zwecke betrachten wir eine Kraftübertragungsanlage, wie sie in Fig. 191 schematisch dargestellt erscheint.

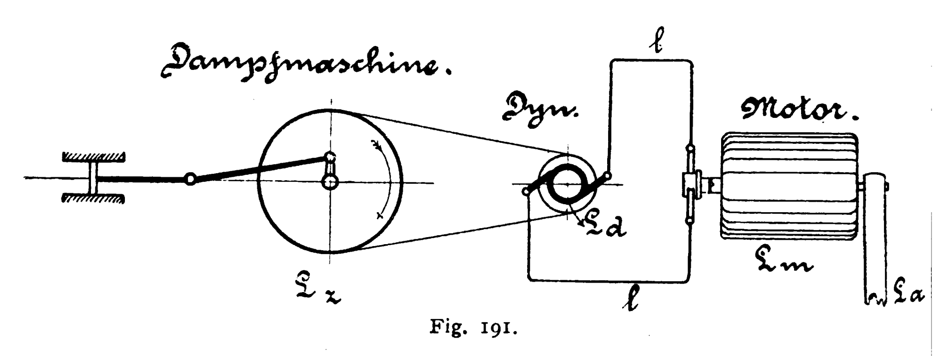


Fig. 191.

Die Welle der Dampfmaschine gibt mittels des Riemens an die Dynamomaschine die mechanische Arbeit L_z ab; diese wird in ihr in elektrische Arbeit L_d umgewandelt. Der kommerzielle Wirkungsgrad des Generators ist:

$\frac{L_d}{L_z}$; wenn man also die zum Antriebe einer gegebenen elektrischen Maschine erforderliche mechanische Leistung, also die Stärke der Antriebsmaschine bestimmen will, muß man die Leistung des Generators durch den Wirkungsgrad dividieren.

Bei kleinen Maschinen bis zu 2 PS dividiert man daher die von derselben erzeugten Watt durch die Zahl

600, was ungefähr einem Wirkungsgrad von 0·82 entspricht; bei größeren Maschinen kann man durch 650 dividieren, was einem Wirkungsgrad von ungefähr 0·9 gleichkommt.

Beispiel: Für meine Versuchs- und Studienzwecke steht mir eine kleine Nebenschlußmaschine für 110 Volt und 10 Ampère Nutzstrom zur Verfügung; was für eine Antriebskraft brauche ich für dieselbe?

$\frac{110 \times 10}{600} \cong 1 \cdot 8$ PS; dies ist aber nicht ganz richtig, denn die Maschine muß ja auch noch den Erregungsstrom für die Magnete liefern: derselbe sei zirka 1·8 Ampère; es muß daher der Anker im ganzen $10 + 1 \cdot 8 = 11 \cdot 8$ Ampère induzieren also

$$\frac{110 \times 11 \cdot 8}{600} \cong 2 \cdot 1 \text{ PS.}$$

Ich will diese Nebenschlußmaschine mittels eines Drehstrommotors für 110 Volt verkettete Spannung, anschließend an ein Beleuchtungsnetz, antreiben. Der Motor hat nach vorgenommenen Versuchen einen Wirkungsgrad von zirka 0·75. Es fragt sich, wieviel Ampère pro Phase wird der Motor aufnehmen, wenn wir den Nebenschlußgenerator mit 11 Ampère (also ungefähr voll) belasten, und wie stark ist die Leitung zu wählen, wenn dieselbe von der Abzweigungsstelle 40 *m* lang ist? (Einfache Länge.)

Wegen Spannungsverlusten in der Außenleitung des Generators nehmen wir an, derselbe habe 116 Volt Gleichstrom zu erzeugen.

Also $116 \times 11 = 1276$ Watt; das ist die schon an den Klemmen zur Verfügung stehende Energie. Der Wirkungsgrad dieses Generators ist (vorläufig nach der Erfahrung angenommen) 0·82; er muß daher im ganzen erzeugen

$$1276 : 0 \cdot 82 = 1556 \text{ Watt.}$$

Ungefähr dieselbe Zahl bekommen wir, wenn wir die oben berechneten 2·1 PS mit 736 multiplizieren, also

$$2 \cdot 1 \times 736 = 1546 \text{ Watt.}$$

Diese Wattanzahl also muß der Drehstrommotor an den Nebenschlußgenerator abgeben.

Die Leistung des ersteren ist:

$$E \times I \times \sqrt{3} \times \cos\varphi = \text{Leistung} = 1556.$$

Die verkettete Spannung $E = 110$ Volt

$\sqrt{3} = 1{\cdot}73$
I wird gesucht
$\cos\varphi = 0{\cdot}8.$

Es ist also $1556 = 110 \times I \times 1{\cdot}73 \times 08$; dieser Ausdruck ist noch mit dem Wirkungsgrad des Motors zu multiplizieren, da wir die mechanische Leistung an der Motorwelle zu berücksichtigen haben. Es ergibt sich sodann das fragliche

$$I = \frac{1556}{110 \times 1{\cdot}73 \times 0{\cdot}8 \times 0{\cdot}75} = \mathbf{13{\cdot}62}\ \text{Ampère.}$$

Gemessen wurde in Wirklichkeit beim ersten Anlassen des Drehstrommotors 14·2 Ampère.

Den Leitungsquerschnitt werden wir nach der auf Seite 241 angegebenen Formel rechnen, die lautet:

$$\frac{I \times l}{40 \times e} = q.$$

Wir nehmen an, der Spannungsabfall dürfe 4 Volt betragen; es wird also

$q = \frac{14 \times 40}{40 \times 4} = 3{\cdot}5\ mm^2$ (es wurde hier I mit rund 14 Ampère in Rechnung genommen). Der Durchmesser ergibt sich daher mit 2·15 *mm*.

Für D r e h s t r o m g e n e r a t o r e n mit gemischtem Betrieb berechnet sich die Größe der Betriebskraft:

$$PS = \frac{E \times I \times \cos\varphi \times 1{\cdot}73}{600 \text{ bis } 650}$$

cos φ ist rund mit 0·8 anzunehmen.

Der kommerzielle Wirkungsgrad des Generators ist, wie schon gesagt, $\frac{L_d}{L_z}$;

Nun geht der Strom durch die Leitungen l zum Motor; uns ist bekannt, daß in jeder Leitung ein Spannungsverlust also analog auch ein Energieverlust entsteht, der sogenannte Leitungsverlust. Die Klemmen des Motors erhalten also nicht soviel an Energie, wie die Klemmen des Generators abgeben; sie erhalten bloß L_m. Der Wirkungsgrad der Leitung ist daher

$$\frac{L_m}{L_d}.$$

Weiters ist uns schon genügend bekannt, daß der Motor nicht soviel mechanische Arbeit L_a abgibt, als er elektrische L_m aufnimmt. Es ist demnach der Wirkungsgrad des Motors $\frac{L_a}{L_m}$; multipliziert man die Wirkungsgrade der einzelnen Stationen miteinander, so bekommt man den Gesamtwirkungsgrad oder den kommerziellen Wirkungsgrad der ganzen Anlage; also:

$$\frac{L_d}{L_z} \times \frac{L_m}{L_d} \times \frac{L_a}{L_m} \times \frac{L_a}{L_z} = \eta \text{ com.}$$

Wir sehen also, daß

$$L_z > L_d > L_m > L_a \text{ ist.}$$

Beispiel: Von einer Dampfmaschine werden einer Nebenschlußmaschine bei Vollbelastung 150 eff. PS zugeführt; dabei liefert dieselbe an den Klemmen 183 Ampère bei 532 Volt Spannung. Der Wirkungsgrad des Generators wird daher

$$\frac{183 \times 532}{150 \times 736} = \frac{97356}{110400} = 0{\cdot}88.$$

Von der Schalttafel aus wird der Strom zu einigen Motoren in der Grube und Obertags geführt; nach Ab-

zug der Spannungsverluste ergeben sich an den Enden der Leitungen zusammen 88560 Watt; daher der Wirkungsgrad der Leitungen:

$$\frac{88560}{97356} = 0{\cdot}91.$$

Von den Motoren werden im ganzen 98·7 PS abgegeben; daher ihr Wirkungsgrad

$$\frac{98{\cdot}7 \times 736}{88560} = 0{\cdot}82.$$

Der gesamte Wirkungsgrad der Anlage ist somit:

$$0{\cdot}88 \times 0{\cdot}91 \times 0{\cdot}82 \cong 0{\cdot}66.$$

Wir bekommen also von der von der Dampfmaschine abgegebenen Energie 66% in den Endstationen wieder zurück.

Weitere Beispiele: Vom Schaltbrett der Zentrale führt ein sogenanntes dreifach verseiltes Kabel in den Schacht in eine Tiefe bis zu 150 *m* bei einer Gesamtlänge von 190 *m*. Dortselbst ist eine Duplexpumpe mit elektrischem Antrieb vorhanden, die 200 *l* pro Minute zutage hebt; das Kabel hat einen Querschnitt von 3 × 19 × 2·2 *mm*; d. h. es besteht aus drei voneinander in dem Kabel gut isolierten Litzen à 19 Drähten à 2·2 *mm* Durchmesser.

Nun wurde in 250 *m* Schachttiefe abermals eine Triplexpumpe für elektrischen Antrieb aufgestellt, mit 400 Minutenliter Leistung. Es entsteht nun die Frage, ob man das vorerwähnte Schachtkabel auch zur Stromzuleitung für die untere Pumpe benutzen könne? Die elektrische Anlage ist eine Drehstromanlage.

Es handelt sich uns hier um den Ampèreverbrauch beider Pumpenmotore, nach dem wir dann beurteilen können, ob der Kabelquerschnitt für die berechnete Strommenge genügend ist oder nicht.

Nach der Messung verbraucht die obere Pumpe 27 Ampère; es handelt sich nur noch um den Verbrauch der unteren in 250 *m* aufzustellenden Pumpe. (Die Spannung bei den Pumpen sei 218 Volt.)

Das Wasser wird von der Pumpe in ein höher gelegenes Reservoir gehoben, welches sich 7 *m* über dem Tagkranz befindet; somit ist an Arbeit zu leisten:

$$A = 13{\cdot}3 \times Q_s \times H \times C$$

$Q_s = 0{\cdot}00833\ m^3$ Wasser pro Sekunde
$C =$ Koeffizient $= 1{\cdot}2$
$H = 257\ m$

$$A = 13{\cdot}3 \times 0{\cdot}00833 \times 257 \times 1{\cdot}2 = 34\ \text{PS}$$

oder

$34 \times 736 = 25024$ Watt; der Wirkungsgrad des Motors sei 0·9; so muß der Triplexpumpe durch das Kabel zugeführt werden:

$$25024 : 0{\cdot}9 \cong 27800\ \text{Watt} = L.$$

Die Leistung eines Drehstrommotors ist aber:

$L = I \times E \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$
$27800\ I \times 218 \times 1{\cdot}73 \times 0{\cdot}89$ daraus

$I = 82$ Ampère; soviel Ampère wird also ungefähr die untere Pumpe brauchen; dazu den Verbrauch der oberen mit 27 Ampère, bekommen wir im Ganzen

$$82 + 27 = 109\ \text{Ampère}.$$

Der Querschnitt einer Phasenleitung im Kabel beträgt $72{\cdot}2\ mm^2 = \left(\frac{3{\cdot}14 \times \overline{2{\cdot}2}^2}{4}\right) \times 19.$

Nach der Tabelle auf Seite 57 kann ein Querschnitt von 70 mm^2 mit 130 Ampère belastet werden; das Kabel ist somit für beide Pumpen genügend.

Wir haben bei den Drehstrommotoren kennen gelernt, daß beim Anlassen, bevor der Rotor in Drehung kommt, die Stromstärke bedeutend anwächst; es wird daher in unserem Falle noch die Bedingung zu stellen sein, daß nie beide Pumpenmotoren auf einmal angelassen werden dürfen.

Die Triplexpumpe ist aufgestellt und bereits im Betriebe. Wir stellen uns die Frage auf: Wie groß ist der volumetrische Wirkungsgrad derselben, wenn der Plungerdurchmesser 125 *mm*, der Hub 150 *mm* beträgt und wieviel Prozent Nutzeffekt hat diese Pumpanlage (inklusive der Duplexpumpe in 150 *m*), wenn man von den Schalttafelklemmen (Sammelschienen) der Zentrale aus rechnet?

Die Ausflußmenge des Wassers oben ergibt sich mit 399 *l* pro Minute. Das eingeschaltete transportable Ampèremeter zeigt 79 Ampère (berechnet wurde vor der Aufstellung 82 Ampère), das Voltmeter 218 Volt. Die Pumpe macht hierbei 78 Touren. Es entfällt somit pro Hub und Plunger eine Wassermenge von 1·84 *l*; somit bei allen drei Plungern:
$1{\cdot}84 \times 3 = 5{\cdot}52\, l$ pro Umdrehung; also sollte pro Minute $5{\cdot}52 \times 78 \cong 430\, l$ theoretisch die Pumpe liefern. Sie liefert aber bloß 399 *l*, daher ihr volumetrischer Wirkungsgrad $399 : 430 \cong 0{\cdot}93$, d. i. 93% Nutzeffekt.

Um die zweite Frage zu beantworten, müssen wir uns vorerst den Spannungsverlust im Kabel berechnen. Durch das Kabel gehen, wie wir berechnet haben, 109 Ampère. Den Querschnitt einer Phase kennen wir, nämlich 72·2 mm^2 und somit können wir den Widerstand berechnen. Derselbe ist bei einer Länge des Kabels von 290 *m* gleich 0·072 Ω (der Einfachheit und Kürze halber wird angenommen, daß die ganzen 109 Ampère bis zur Tiefe von 250 *m* gehen).

Der Spannungsverlust ergibt sich

$$e = I \times w \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$$

$$= 109 \times 0{\cdot}072 \times 1{\cdot}73 \times 0{\cdot}8$$

$\cos\varphi$ ist hier, wie bei allen ähnlichen Berechnungen, mit 0·8 angenommen.

$e \cong 11$ Volt; wenn also, wie wir faktisch gemessen haben, bei den Motoren eine Spannung von 218 Volt herrschen soll, muß an den Sammelschienen eine solche von $218 + 11 = 229$ Volt herrschen.

Der Energieverlust im Kabel ergibt sich daher mit

$$109 \times 11 \cong 1200 \text{ Watt.}$$

Die obere Pumpe in 150 *m* liefert in der Sekunde

$$200:60 = 3{\cdot}33 \; l.$$

Um das Wasser auf 157 *m* zu heben, braucht man theoretisch

$$\frac{157 \times 3{\cdot}33}{75} = 6{\cdot}97 \text{ PS} \times 736 \text{ Watt} = \mathbf{5130} \text{ Watt.}$$

Der zugehörige Motor verbraucht aber

$$A = I \times E \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$$

$$= 27 \times 218 \times 1{\cdot}73 \times 0{\cdot}8 = \mathbf{8080} \text{ Watt.}$$

Die untere Pumpe in 250 *m* gießt oben aus

$$399:60 = 6{\cdot}65 \; l \text{ pro Sekunde.}$$

Um das Wasser auf 257 *m* zu heben, braucht man theoretisch

$$\frac{257 \times 6{\cdot}65}{75} = 22{\cdot}79 \text{ PS} \times 736 = \mathbf{16773} \text{ Watt.}$$

Der zugehörige Motor verbraucht aber

$$A = 79 \times 218 \times 1{\cdot}73 \times 0{\cdot}89 = \mathbf{25515} \text{ Watt.}$$

Theoretisch sollten also die Sammelschienen auf der Schalttafel abgeben

5130
16773
21903 Watt.

Es verbraucht aber

die Leitung . . .	1200	Watt
oberer Motor .	8080	„
unterer Motor	25515	„
also zusammen	34795	Watt.

Somit ist der gesamte Wirkungsgrad beider Pumpstationen, von der Schalttafel bis zum Ausguß der Pumpen

$$21903 : 35795 = 0{\cdot}63.$$

Der Wirkungsgrad eines jeden Generators oder Motors ist um so günstiger, je mehr er bis zur normalen Grenze belastet wird; so beispielsweise ergab eine Nebenschlußdynamomaschine bei Entnahme von 2 Ampère 58% Nutzeffekt, bei Entnahme von 30 Ampère 90% Nutzeffekt.

Man arbeitet also ökonomisch mit dem größten Nutzeffekt, wenn man eine elektrische Anlage voll ausnutzt, also auf jene Spannung und insbesondere Stromstärke belastet, für die sie gebaut ist. Es ist beim Bergbau nicht anders. Derselbe rentiert sich nur dann, wenn die Leistung, also die Förderung nicht unter ein gewisses Normale sinkt; denn hauptsächlich durch diese sind ja die Förderkosten (Eigenkosten) bedingt.

Wir haben insbesondere bei den Drehstrommotoren kennen gelernt, daß dieselben für ihren Leerlauf eine bedeutende Stromstärke aufnehmen, nämlich den Magnetisierungsstrom, daß aber mit steigender Belastung derselbe abnimmt und der Arbeitsstrom in den Vordergrund tritt. Da außerdem der Wirkungsgrad mit steigender Belastung immer ein anderer ist, indem er mit steigender Belastung gleichfalls zunimmt, so ist es schwierig, ohne weiteres bei einer gewissen Ampèreanzahl die effektive Leistung des Motors anzugeben, da uns dann der Wirkungsgrad in den einzelnen Belastungsstadien nicht bekannt ist.

Eine Zentrale ist ein- für allemal für eine bestimmte Spannung gebaut. Man braucht also nur bei einem, zu einer bestimmten Anlage zugehörigen Motor das Verhältnis zwischen den Pferdestärken in den einzelnen Stadien und den dazu gehörigen Ampères zu kennen, um sofort bei einer bestimmten Anzahl Ampère die an der Motorwelle geleisteten Pferdekräfte anzugeben. Zu diesem Zwecke liefern (oder verlange man sie) die Fabriken zu jedem Drehstrommotor eine sogenannte Leistungskurve, welche in der Abzisse die durch Abbremsung bestimmten Pferdekräfte, in der Ordinate die entsprechende Anzahl vom Motor auf-

genommener Ampère enthält, Fig. 192. Man ersieht aus derselben, daß, wenn man den Motor leer anläßt, ohne aufgelegten Riemen, daß er an Magnetisierungs-

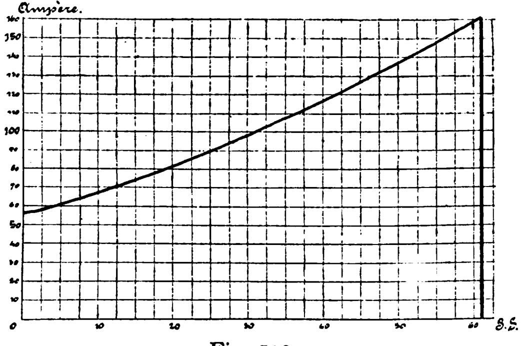


Fig. 192.

strom 56 Ampère aufnimmt; bei 100 Ampère aber leistet er schon 32 PS.

Bei Benützung derartiger Kurven muß man natürlich immer trachten, die angegebene Spannung am Motor einzuhalten.

Akkumulatoren.

Eine Arbeit, besonders wenn sie von Naturkräften herrüht, aufzuspeichern, um sie dann zweckmäßig später und vielleicht an einem anderen, beliebigen Orte wieder zu verwenden, ist wohl eine der größten Aufgaben, welche die Technik noch zu lösen hat. Wieviel Energie liegt in einem länger andauernden Wind, einem Landregen, in einem einzigen Blitze! Die Natur selbst hat in dieser Richtung ihre Sache getan. Denn was ist es anderes als eine Kraftaufspeicherung, wenn unter der Einwirkung der Sonnenwärme (also Wärmeenergie) Getreide und Früchte reifen und Wälder wachsen, um sodann ohne Rücksicht auf Zeit und Raum die lebenden Wesen in Form von Nahrung und Brennmaterial mit

Kraft zu versorgen, dieselben zu wärmen?! Das wäre eine Umwandlung in chemische Energie. Ähnliches, wie oben angedeutet, mit mechanischer Energie zu erzielen, wäre unser Ideal. Wieder ist es die geschmeidige Elektrizität, die in dieser Richtung ihr Scherflein beigetragen hat.

Hunderte von den heutzutage bestehenden elektrischen Zentralen haben die Aufgabe, Tag und Nacht elektrischen Strom derart zu liefern, daß in gewissen Zeitperioden, beispielsweise bei Tage, der Stromverbrauch nur ein geringer, bei Nacht hingegen ein viel größerer ist, als die Zentrale zu liefern vermag. Es würde also bei Tage die Maschine nicht ausgenutzt sein und daher, wie wir in dem Kapitel über den Wirkungsgrad gehört haben, die Zentrale nicht ökonomisch arbeiten. In der Nacht könnte aber dieselbe wieder nicht das liefern, was man im äußeren Stromkreis verbrauchte. Es wäre daher gut, ebenso wie bei Wasseranlagen, ein Reservoir zu haben, in welches bei Tage die Zentrale voll arbeitend, die überschüssige Kraft hineinpumpen würde, um dann bei großem Bedarf die Dynamomaschine mit Zuziehung des Reservoirs unterstützen zu können.

Diesen Zweck erfüllen nun die sogenannten **Akkumulatoren** oder **Sammler.** Das Prinzip ist folgendes: Wird ein elektrischer Gleichstrom (nicht Wechselstrom!) durch Platinelektroden geleitet, die sich in verdünnter Schwefelsäure befinden, so lagert sich an der negativen Elektrode Wasserstoff, an der positiven Sauerstoff an. Unterbricht man nun den Strom und verbindet die Elektroden mit einem Galvanometer zu einem geschlossenen Stromkreis, so wird letzteres einen verkehrt fließenden, eine gewisse Zeit hindurch andauernden Strom anzeigen. Es muß also in den Platten, überhaupt im Inneren des Elementes eine Gegen-*EMK* wachgerufen worden sein, die der eintretenden primären *EMK* entgegengewirkt hat. Diese Veränderung der Platten in ihrem Verhalten nennt man das Polarisieren derselben; der nach der Einwirkung des Primärstromes herausfließende Strom heißt der Sekundärstrom oder Polarisationsstrom und das so erhaltene Element heißt ein Sekundärelement.

Durch verschiedene Versuche ist es G. Planté gelungen, ein Element zusammenzustellen, welches bis auf den heutigen Tag trotz vieler Mängel das leistungsfähigste ist, und als einziges die größte Verbreitung gefunden hat.

Wenn zwei Bleiplatten nahe aneinander in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure gebracht werden und man durch dieselben eine zeitlang Gleichstrom gehen läßt, so zerlegt sich der Hauptsache nach die Schwefelsäure $H_2 S O_4$ in Wasserstoff H_2 und in das nicht frei bestehende $S O_4$; von diesem wird ein Sauerstoffatom weggenommen. Mit zwei solchen verbindet sich ein Atom Blei zu Bleisuperoxyd $Pb O_2$, während das übrig bleibende $S O_3$ aus der verdünnten Flüssigkeit ein Molekül Wasser $H_2 O$ aufnimmt und wieder Schwefelsäure bildet. Das Bleisuperoxyd lagert sich auf der Oberfläche der positiven Elektrode in Form einer braunen Kruste ab, während sich an der negativen schwammiges, metallisches Blei bildet. Durch diesen elektrolytischen Vorgang hat das Bleielement eine *EMK* erhalten, und wenn man daher nach dessen Ladung die Pole mit einem äußeren Stromkreis verbindet, so durchfließt denselben ein Strom. Die *EMK* eines solchen Elementes ist rund 2 Volt.

Während der Entladung wird wieder die Schwefelsäure zersetzt und im Augenblicke ihrer Umwandlung verwandelt sie sowohl auf der negativen Platte das metallische Blei, als auch auf der positiven Platte das Bleisuperoxyd in Bleisulfat. Ist dies auf beiden Platten vollständig geschehen, so hört auch der Stromfluß auf. Das wäre so der Vorgang im Prinzipe; in Wirklichkeit ist er viel komplizierter.

Nach einmaliger Ladung eines solchen Bleiplattenelementes ist der beim Entladen gewonnene elektrische Strom nur gering und die *EMK* nimmt sehr rasch ab. Um für die Praxis brauchbare, ausgiebige Elemente zu bekommen, hat Planté dieselben in der Weise monatelang behandelt (formiert), daß er dieselben nach dem Laden sofort wieder gänzlich entlud, dann wieder in verkehrter Richtung lud, usf., wodurch er erzielte,

daß der Sauerstoff immer tiefer in die Bleiplatten hineindrang und sich eine immer stärker wirksame Superoxydschicht bildete. Erst nach dieser soeben geschilderten Formierung wird das Element kräftig; es ist imstande, nach Belieben, innerhalb einer gewissen Zeit einen Strom mit beinahe konstanter Spannung zu liefern. Da also gleichsam durch die chemische Veränderung in dem Element eine *EMK* angesammelt, aufgespeichert wurde, so heißen derartige Elemente Akkumulatoren, d. i. Sammler. Die einzelnen Elemente, welche man zu einer Batterie verbinden kann, nennt man Zellen.

Um das langwierige Formieren zu vermeiden, hat Faure gleich von vorneherein die eine Platte mit Menige, d. i. einem Gemisch von Bleioxyd und Bleisuperoxyd auf der Oberfläche versehen, wodurch der chemische Vorgang während der Ladung und Entladung viel flotter vonstatten geht und die Zellen somit bedeutend früher formiert sind.

Während der Ladung wird die Schwefelsäure immer dichter, weil ja während des chemischen Prozesses der verdünnten Schwefelsäure Wasser entnommen wird.

Zur Oxydation und nachherigen Reduktion von Blei, beziehungsweise von Superoxyd ist eine gewisse Menge Sauerstoff und Wasserstoff notwendig, äquivalent der auf der Oberfläche wirksamen Bleimenge. Die Entwicklung der Gase ist von der Strommenge abhängig. Würde man nun soviel Strom in die Zellen schicken, daß ein Überschuß an diesen Gasen entsteht, so würde ein Teil derselben nutzlos entweichen; es folgt also daraus, daß bei einer bestimmten Zelle, der Oberfläche ihrer Elektroden gemäß, die Lade- und Entladestromstärke eine ganz bestimmte sein muß. Sie darf aber anderseits auch nicht wieder zu schwach sein, weil dann besonders auf der positiven Platte sogenannte Lokalströme entstehen und in den Vordergrund träten, welche die Platte ruinieren würden.

Es wird daher schon von der Fabrik aus angegeben, mit welcher Stromstärke eine Zelle höchstens geladen und entladen werden darf.

Nähert sich bei einer Zelle die Ladung ihrer Sättigung, so fängt eine sichtbare Gasentwicklung sich bemerkbar zu machen, die immer heftiger wird, „die Akkumulatoren kochen". In diesem Stadium sind sie geladen.

Man bezeichnet die ganze Elektrizitätsmenge, die ein Akkumulator aufzunehmen vermag, mit dem Namen **Kapazität** desselben; und zwar heißt die zur vollständigen Ladung nötige Menge die Ladekapazität, die bei der Entladung wieder zurückgewonnene Menge die Entladekapazität. Wenn man schlechtweg von der Kapazität eines Akkumulators spricht, so meint man immer nur die letztere. Dieselbe wird gewöhnlich in Ampèrestunden ausgedrückt. Hat beispielsweise eine kleine Akkumulatorenbatterie 36 Ampèrestunden, und ist weiters angegeben, daß ihre Entladungsstärke höchstens 6 Ampère betragen darf, so kann man entweder ein Ampère 36 Stunden, oder 3 Ampère 12 Stunden, oder schließlich 6 Ampère 6 Stunden hindurch der Batterie entnehmen.

Man bekommt aus der Batterie nie denjenigen Strom, den man hineingegeben hat. Das Verhältnis der vom Akkumulator abgegebenen zur aufgenommenen Strommenge nennt man den Wirkungsgrad; derselbe beträgt 80 bis 85%.

Je größer die wirksame Fläche der positiven Elektrode ist, desto größer ist die Kapazität des Akkumulators selbst. Sie wird dadurch erzielt, daß in jeder Zelle mehrere Platten angebracht werden, daß sich zwischen je zwei negativen Platten immer eine positive (braune) Platte befindet, Fig. 193. Die Platten haben Ansätze *a* aus Blei; die gleichnamigen werden zusammen mittels eines Bleistreifens *b* verlötet, und zwar alle positiven auf der einen, alle negativen auf der anderen Seite. Dadurch bekommt man eine Zelle mit großer wirksamer Oberfläche. Bei Herstellung einer ganzen Akkumulatorenbatterie wird immer das freie positive Ende der einen Zelle mit dem freien negativen Ende der anderen Zelle verbunden.

Die Spannung einer Zelle beträgt, und mag sie groß sein wie immer, rund 2 Volt. Wird ein Akkumulator geladen, so steigt seine Klemmenspannung rasch

auf 2 bis 2·05 Volt, dann weiter bald auf 2·15 Volt und bleibt sodann beinahe während der ganzen Zeit der

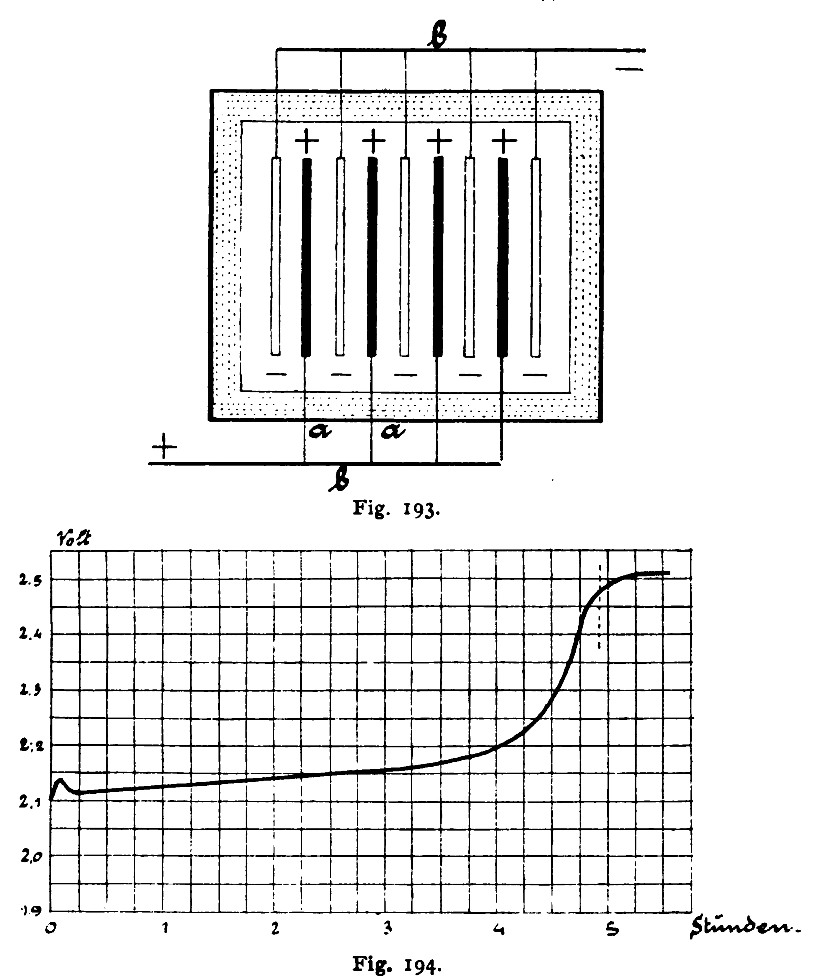


Fig. 193.

Fig. 194.

Ladung auf dieser Höhe, um hierauf zu Ende der Ladung rasch wieder zu steigen. Bei ungefähr 2·25 Volt fängt

die erste Gasentwicklung an und mit deren Zunahme nimmt auch die Spannung rasch bis auf 2·5 Volt zu. Wird schließlich die Gasentwicklung eine stürmische, so daß die Flüssigkeit ein milchiges Aussehen bekommt, so steigt die Spannung bis auf 2·7 Volt. Fig. 194 veranschaulicht die Spannungszunahme während der Ladung. Die vertikal punktierte Linie gibt die ungefähre Grenze der Ladung an; es ist dies jener Augenblick, bis zu welchem die Spannung rascher zunahm, von da aber nur langsam in die Höhe geht. Übrigens werden von jeder Fabrik diesbezüglich genaue und bestimmte Daten angegeben.

Wird ein Akkumulator entladen, so sinkt seine Spannung bald auf 2 Volt zurück, etwas später bis auf 1·95 Volt und bleibt dann bei normaler Entladung lange auf dieser Höhe stehen; zu Ende der üblichen Entladung sinkt sie dann bis auf 1·8 Volt und hier muß dieselbe unterbrochen werden. Unter diese Spannung darf ein Akkumulator nicht entladen werden.

Aus dem bisher Gesagten können wir uns nun leicht bestimmen, welche Spannung notwendig ist, um eine gegebene Batterie zu laden; ferner läßt sich für eine solche die nötige Anzahl Zellen bestimmen, wenn die Batterie eine bestimmte Spannung liefern soll; wir werden dies später an Beispielen erläutern.

Es wurde schon einmal erwähnt, daß die Lade- und Entladestromstärke der wirksamen Oberfläche proportional sein muß.

Beim Laden beträgt dieselbe gewöhnlich 0·5 bis 1 Ampère pro 1 dm^2 positiver Elektrodenfläche, beim Entladen 0·75 bis 1·3 Ampère pro 1 dm^2. Es ist somit die Entladungsstromstärke immer größer als die Ladungsstromstärke.

Zum Laden von Akkumulatoren sind nur Gleichstrom-Nebenschlußmaschinen verwendbar, da letztere durch zufälligen Rückstrom aus den Akkumulatoren nicht umpolarisiert werden.

Die Akkumulatoren sind entweder stationär oder transportabel. Die ersteren sind offen in Glasgefäßen oder in Holzkasten, die mit Blei ausgefüttert sind, ein-

gebaut und auf starken mit Teer imprägnierten Holzbalken nebeneinander in luftigen, kühlen und dabei trockenen Räumen aufgestellt. Eine solche Zelle hat oft eine ganz respektable Größe; es bestehen bereits auch solche, die imstande sind 2500 Ampère abzugeben.

Die transportablen Akkumulatoren müssen, um die Flüssigkeit nicht zu verschütten, geschlossen gebaut werden. Sie sind entweder einzeln oder zu kleinen Batterien verbunden in Holzkasten eingebaut. Die kleinen transportablen Zellen haben eine Kapazität von 3 Ampèrestunden, die großen bis 150 Ampèrestunden.

Laden der Akkumulatoren: Die *EMK* einer Zelle beträgt rund 2 Volt; um sie laden zu können, muß der Primärstrom mindestens auch eine solche Spannung haben. Nun wissen wir aber, daß die Spannung später bis auf 2·5, ja zeitweise bis 2·7 Volt ansteigt. Es muß also hauptsächlich diese größte Spannung berücksichtigt werden.

Nehmen wir an, wir hätten eine Batterie für normal 110 Volt Spannung zu errichten; aus wieviel Zellen muß vorerst dieselbe bestehen? Wir müssen hier die kleinste zulässige Spannung, bis zu welcher die Entladung stattfinden darf, berücksichtigen. Sie ist 1·8 Volt; also müssen wir $110 : 1{\cdot}8 \cong 60$ Zellen aufstellen. Diesen muß zu Ende der Ladung eine Spannung von $60 \times 2{\cdot}5 = 150$ Volt zugeführt werden. Zwischen diesen Grenzen also muß die Spannung der Maschine regulierbar sein.

Soll mit dieser Batterie eine Glühlampenbeleuchtung besorgt werden, so findet folgendes statt: Bald nach dem Einschalten der Akkumulatoren sinkt die Spannung auf 2·2 Volt. Bei 60 Zellen würden somit die Lampen eine Spannung von 132 Volt erhalten, also zu ihrem Schaden sehr intensiv glühen. Sinkt dann später, wie wir gehört haben, die Spannung auf 1·95 Volt, so besteht noch immer eine Lampenspannung von 117 Volt. Um also die Spannung stets auf gleicher Höhe zu erhalten, müssen zu Beginn der Entladung einige Zellen ausgeschaltet werden, und in dem Maße, als die Spannung sinkt, werden sie erst wieder eingeschaltet. Beim nachherigen Laden geschieht das Umgekehrte. Das Zu- und

Abschalten von Zellen wird mittels eines sogenannten Zellenschalters vorgenommen. In der Fig. 195 sehen wir das Schaltungsschema (in der allereinfachsten Art) einer Akkumulatorenbatterie und einer Dynamomaschine, mit gleichzeitiger Berücksichtigung des Anschlusses beider an den äußeren Stromkreis.

Wird die Dynamomaschine *D* angelassen und der Umschalter auf den Kontakt 2 geschaltet, so geht der Strom direkt in den äußeren Stromkreis; hierbei muß selbstverständlich der Batterieschalter *s* auch abgeschaltet sein.

Will man die Batterie laden, so wird der Umschalthebel auf den Kontakt 1 geschoben, *s* zugeschaltet und der Zellentschalter so gestellt, daß durch sämtliche Batteriezellen Strom zu Beginn der Ladung geht, hingegen durch den äußeren Stromkreis nicht gehen kann.

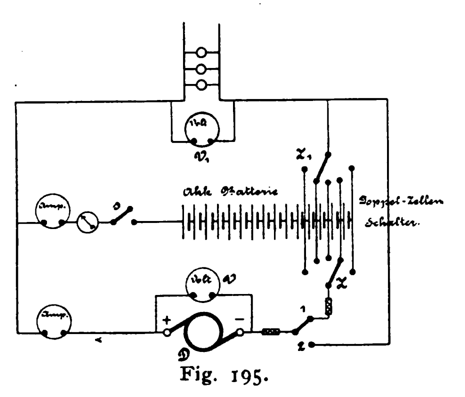


Fig. 195.

Nehmen wir nun zuerst den Fall an, daß die Batterie allein entladen wird, wobei die Dynamomaschine stillsteht. Damit der Strom in dieselbe nicht zurückfließen kann, muß der Umschalter abgeschaltet werden, daß er weder den Kontakt 1 noch 2 berührt. Es liege eine Anlage für 110 Volt Betriebsspannung vor. Eine solche muß, wie wir oben berechnet haben, 60 Zellen besitzen; somit ergibt sich zu Beginn der Entladung eine Spannung von ungefähr $2{\cdot}1 \times 60 = 126$ Volt. Wir brauchen aber nur 110 Volt. Es müssen also 7 Zellen aus dem Stromkreis abgeschaltet werden, was mit Hilfe des Hebels z_1 geschieht. In dem Maße nun, als die Spannung der Batterie abnimmt, müssen diese Zellen wieder nach und nach zugeschaltet werden. Die richtige Netzspannung

wird auf dem Voltmeter V_1 abgelesen. V ist das Maschinenvoltmeter.

Die Batterie ist nun entladen und wird eine neue Ladung derselben vorgenommen. Mit dem Umschalter, und zwar mittels des Hebels *z* werden sämtliche Zellen eingeschaltet. Zu Beginn der Entladung haben wir 7 Zellen ausgeschaltet und erst nach und nach wieder eingeschaltet; diese werden daher auch früher auf die Spannung von je 2·5 Volt geladen sein, was man an dem früheren Kochen derselben erkennt. Es müssen daher dieselben auch früher nach und nach abgeschaltet werden, und dies geschieht mittels des Hebels *z*.

Die Spannung jeder einzelnen Zelle kann man auf ein Zehntel Volt genau mittels eigener aperiodischer Voltmeter, sogenannter Akkumulatorenprüfer, kontrollieren; sie haben den Nullpunkt in der Mitte der Skala. also einen beiderseitigen Ausschlag.

Bisher haben wir gesehen, daß entweder die Dynamomaschine oder die geladene Batterie Strom für den äußeren Stromkreis liefern kann. Wir haben zwei Stromquellen vor uns, die, falls man eine gewisse Zeit hindurch mehr Strom benötigt als eine von ihnen allein zu liefern vermag, auch parallel miteinander geschaltet werden können. Es wird sodann die Dynamomaschine von der Batterie unterstützt. Tritt umgekehrt der Fall ein, daß der äußere Stromkreis nicht soviel Strom aufnimmt, als die Dynamomaschine zu liefern vermag, so fließt der Rest desselben in die Akkumulatoren und diese werden geladen.

Man ersieht also daraus, daß die Akkumulatoren in der Hauswirtschaft eines elektrischen Betriebes eine ausgezeichnete Rolle spielen. Sie dienen einerseits zur Unterstützung des Maschinenbetriebes; anderseits werden sie häufig, und dies hat hauptsächlich Wert für uns, als sogenannte Pufferbatterien verwendet, indem sie bei stark schwankendem Stromverbrauch Stromstärke und Spannung bis zu einem gewissen Grade ausgleichen, was zur Schonung des Generators und zur Gleichmäßigkeit des Betriebes ungemein beiträgt.

Außer den großen Akkumulatorenbatterien werden beim Bergbau auch häufig einzelne transportable kleine Zellen verwendet, insbesondere für Grubenbeleuchtung.

Eine solche elektrische Grubenlampe besteht aus einem Aluminiumgehäuse, das mit säurefestem Lack gebrannt und gestrichen ist. In demselben ist eine zweizellige Akkumulatorenbatterie in einem Hartgummigefäß angebracht und mittels Paraffin im Gehäuse dicht eingegossen. Die Klemmenspannung der geladenen Batterie ist somit 4 Volt; die zur Verwendung ge-

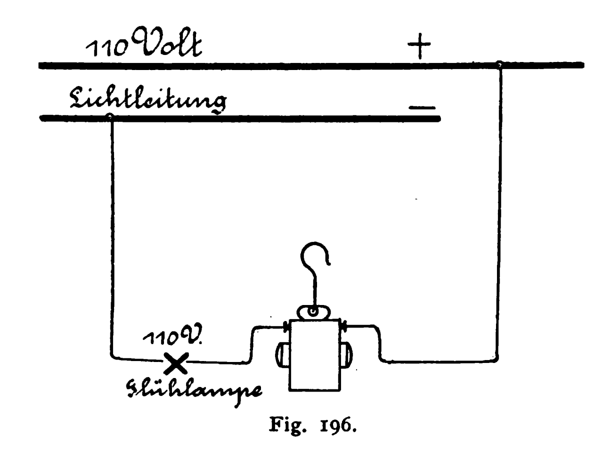


Fig. 196.

langenden Glühlämpchen haben einen Stromverbrauch von 0·5 bis 0·6 Ampère.

Eine Lampe allein wird geladen, wenn man dieselbe einfach an das Netz (selbstverständlich Gleichstrom) derart anschließt, daß der positive Pol derselben, bezeichnet mit +, mit der positiven Leitung, der negative, bezeichnet mit —, mit der negativen Leitung verbunden wird, wobei in einer der Anschlußleitungen eine normale Glühlampe eingeschaltet ist (Fig. 196).

Behufs Feststellung der Polarität einer Leitung bedient man sich mit Vorteil des sogenannten Polreagenzpapieres. Es ist dies ein mit Phenolphthaleïn getränktes Filtrierpapier. Wird ein Streifen von diesem

Papier auf ein Brettchen gelegt, angefeuchtet, und berührt man denselben mit den blanken Enden zweier, unter Strom stehender Leitungsdrähte, so entsteht an der Berührungsstelle des negativen Drahtes ein roter Fleck.

Soll eine kleine transportable Batterie geladen werden, so ist ihre Spannung vorher zu berücksichtigen. Besteht beispielsweise meine Batterie aus 6 Zellen, so brauche ich zur Ladung 15 Volt Spannung. Steht mir im Leitungsnetz eine solche von 110 Volt zur Verfügung, so muß ich auf irgend eine Art und Weise 95 Volt vernichten. Am einfachsten geschieht dies mit Hilfe von Glühlampen, welche gerade für die zu vernichtende

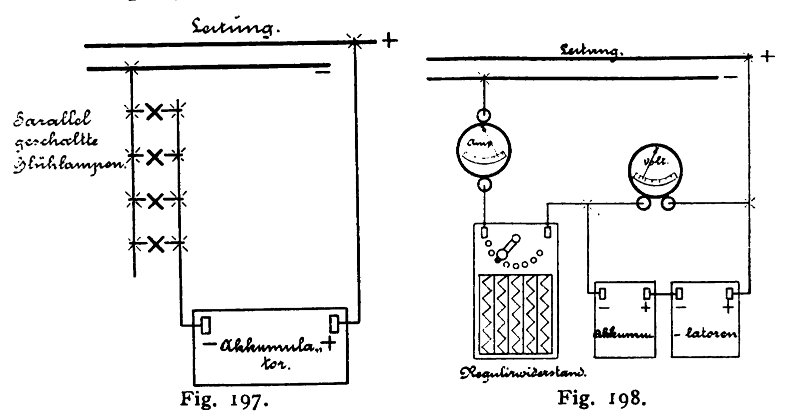


Fig. 197. Fig. 198.

Spannung gebaut sind, also hier für 95 Volt. Das Schaltungsschema gibt die Fig. 197. Wieviel Glühlampen muß man parallel schalten? Eine 95voltige Lampe verbraucht ca. 0·45 Ampère. Der Lieferant hat bei meiner oberwähnten Batterie angegeben, daß sie mit 4 Ampère zu laden sei; also brauchen wir 4 : 0·54 = 8·8 Lampen. Wir werden also 8 Lampen wählen.

Statt der Lampen, die ja dem Verschleiße unterliegen und daher Erhaltungskosten verursachen, kann ein Regulierwiderstand aus Nickelindraht genommen werden, wobei aber ein Volt- und ein Ampèremeter unbedingt notwendig ist, Fig. 198.

Ist mir ein Akkumulator gegeben, dessen Lade- und Entladestromstärke unbekannt ist, so kann ich mir dieselbe aus den Abmessungen der Platten ungefähr berechnen. Beispielsweise besteht jede Zelle meiner transportablen Batterie aus je drei negativen und zwei positiven (braunen) Platten in den Dimensionen von je $2 \times 1{\cdot}5$ *dm*. Somit hat eine positive Platte beiderseits an wirksamer Fläche $2 \times 2 \times 1{\cdot}5 =$ $6\,dm^2$ und daher beide in einer Zelle zusammen $12\,dm^2$. Vorsichtshalber die Ladestromstärke mit 0·4 Ampère die Entladestromstärke mit 0·6 Ampère pro Quadrat dezimeter angenommen, so darf man die Batterie mit höchstens 4·8 Ampère laden und mit 6 Ampère entladen.

Eine geladene Batterie kann wochenlang unbeschädigt ruhig stehen bleiben und ist nur von Zeit zu Zeit nachzuladen; ungeladen darf sie nie lange stehen bleiben, höchstens 2—3 Tage.

Bei ruhig stehenden, geladenen Akkumulatoren ist es gut, zeitweise jede Zelle für sich mittels des bekannten Akkumulatorprüfers auf ihre Spannung zu prüfen; dabei braucht die Zelle nicht aus der Batterie abgeschaltet zu werden. Wird bei einer derselben eine gegen die anderen auffallende Spannungsabnahme konstatiert, so ist sie sofort aus der Batterie abzuschalten, denn es ist gewiß ein Kurzschluß in derselben vorhanden. Ein solcher hat ein rasches Entladen und daher eine Zerstörung der betreffenden Zelle zur Folge; um also auch die anderen Zellen vor einer so raschen Entladung zu bewahren, muß deshalb die schadhafte sofort aus ihrem Verbande entfernt werden.

Häufig sind mit den diversen Rettungsrequisiten auch tragbare elektrische Grubenlampen vorgeschrieben. Man wird darauf achten, daß dieselben immer geladen bleiben, um sie jeden Augenblick verwenden zu können.

Bei längerer Nichtbenutzung ist es gut, dieselben bis zur erlaubten Grenze zu entladen (leuchten lassen), um sie dann sofort wieder zu laden. Selbstverständlich wird man sich hüten, dies bei allen auf einmal zu tun; einige Lampen müssen doch immer betriebsbereit dastehen.

Einiges über elektrische Anlagen überhaupt.

Soll man auf seiner Schachtanlage einen elektrischen Betrieb einführen oder nicht?

Über diese Angelegenheit erst lange zu disputieren, wäre heutzutage wohl ganz und gar überflüssig; denn wenn schon kein anderer Beweggrund für die Einführung der Elektrizität vorläge, so tritt doch immer wenigstens die Beleuchtungsfrage der Anlage mahnend in den Vordergrund.

Bei modernen Anlagen, wo eine ganze Reihe von Betrieben zu besorgen ist, verursacht der Dampfbetrieb oft sehr viele Schwierigkeiten und große Auslagen und da wird uns unzweifelhaft die Elektrizität infolge ihrer Geschmeidigkeit und großen Fähigkeit in der Weiterleitung ihrer Energie viel bessere Dienste leisten als der direkt benutzte Dampf. An Stelle der schwerfälligen Dampfleitungen treten die unansehnlichen Drähte.

Ebenso sind die heutigen Grubenbetriebe, dem Grundsatze der Massenerzeugung entsprechend, in einem großen Maßstabe angelegt. Daraus resultieren eine ganze Reihe von Hilfsbetrieben, wie: maschinelle Streckenförderung jeder Art, Separatventilation, Hilfsförderung und Hilfswasserhaltung aus tiefer gelegenen Grubenfeldern usw.

Vor nicht gar langer Zeit war man ja genötigt, für alle derartigen Einrichtungen komprimierte Luft oder auch Dampf zu verwenden. Wieviel Übelstände haben sich da nicht ergeben? Dampf in der Grube, manchmal einige, ja sehr viele Kilometer Dampfleitungen in schmalen, niedrigen Strecken, bei älteren Betrieben sogar direkt geheizte Dampfkessel in der Grube! . . . Welch eine Belästigung der Arbeiter durch die Hitze, und welch unliebsame Störungen für den Betrieb selbst, wenn die dazumal vielfach noch gußeisernen Rohrleitungen von blähenden Sohlen oder druckhaften Ulmen jeden Augenblick einem Bruche ausgesetzt waren? Über

den kleinen Nutzeffekt der komprimierten Luft brauchen wir ja auch nicht erst zu reden.

Sobald man sich nun entschlossen hat, eine elektrische Zentrale auf der Schachtanlage zu errichten, ist die Hauptfrage zu beantworten: Was für eine Stromart soll man wählen?

Diese Wahl richtet sich vorerst nach folgenden zwei Momenten:

Was für Einzelbetriebe will man von der Zentrale aus besorgen?

Wie weit sind die Einzelbetriebe von der Zentrale entfernt?

Was den ersten Gesichtspunkt anbetrifft, so kann man unterscheiden:

1. Beleuchtung allein.
2. Kraftbetrieb allein, und zwar nur auf der Anlage.
3. Kraftbetrieb auch außerhalb der Anlage (Kraftübertragung auf eine größere Entfernung).
4. Beleuchtung und Kraftbetrieb.

Der Kraftbetrieb im allgemeinen kann nun sein:

a) Betrieb von einzelnen Motoren mit konstanter Tourenzahl.

b) Betrieb einer Hauptfördermaschine oder überhaupt von Motoren mit variabler Tourenzahl.

c) Betrieb von Bohrmaschinen.

d) Elektromagnetische Aufbereitung von Eisenerzen.

Wie weit man mit der Heranziehung der Elektrizität in den einzelnen Betrieben gehen soll, ist Geschmacksache der kompetenten Instanzen. Die Elektrizität ist bei der heutigen Vervollkommnung der Generatoren, Leitungen, Hilfsapparate und Motoren für alle Betriebe gut verwendbar. Bei der Neuanlage eines Schachtes wird man also allenfalls dem Fortschritte der Zeit Rechnung tragend damit rechnen, daß mit Ausnahme der Fördermaschine im allgemeinen alles übrige mit elektrischem Antriebe versehen wird.

Es wird hier ausdrücklich betont „mit Ausnahme der Fördermaschine": denn das wird niemand ableugnen können, daß sie als Dampffördermaschine eine bisher

unerreichte Manövrierfähigkeit und Fahrsicherheit besitzt. Die Hauptbedingung bei einer Fördermaschine, die verschiedenartigste Geschwindigkeit zuzulassen, läßt sich bisher am einfachsten und sichersten mit Dampf erzielen, und zwar von ungefähr 20 *m* Fahrgeschwindigkeit bis zur Seilrevisionsgeschwindigkeit von 20 *cm* pro Sekunde.

Die Fördermaschine auf einer größeren selbständigen Anlage befindet sich gewöhnlich in der unmittelbarsten Nähe des Kesselhauses und in solchen Fällen wäre es, insbesondere beim Kohlenbergbau, höchst ungeschickt, die Dampfkraft erst in elektrische Energie umzuwandeln und erst mit dieser die Fördermaschine zu betreiben.

Etwas anderes ist es, wenn sich ein Hilfsförderschacht weiter von einer Hauptanlage befindet. In einem solchen Falle wird man an eine elektrische Fördermaschine denken können, für die man den nötigen elektrischen Strom in der Zentrale des Hauptschachtes erzeugen, und mittels Luftleitungen zum betreffenden Hilfsschacht leiten wird. Bei Kohlengruben wird wohl die Errichtung einer elektrischen Fördermaschine weniger in Betracht kommen. Jeder Schacht ist für sich selbstständig ausgerüstet und der wichtigste Gesichtspunkt, das ist das Brennmaterial für die Kesselheizung, fällt hier gar nicht auf die Wagschale, denn oftmals ist es ein frommer Wunsch des Betriebes, wegen Überfluß an nicht marktfähigen Kohlenabfällen möchte viel mehr unter den Kesseln verbrannt werden.

Anders steht die Sache bei der Bergbaubetreibung auf andere nutzbare Mineralien. Da man hier die Kohle oft weit her beziehen muß, wird man, um nicht unnutzerweise für Asche und Schiefer Fracht zahlen zu müssen, nur die besten Kohlenmarken beziehen und da heißt es, wie bei einer jeden Fabriksanlage, mit der Kohle gut hauszuhalten, also den kalorischen Effekt derselben bestmöglichst auszunutzen. In solchen Fällen wird man keine Bedenken haben, für mehrere Anlagen eine einzige große Zentrale zu errichten und wo möglich alles, also auch die Fördermaschinen, elektrisch anzutreiben; denn

man muß bedenken, daß man von der in der Kohle schlummernden Energie ungefähr nur 7% von der Dampfmaschine wieder zurückbekommt, während eine Dynamomaschine mit bis 94% Nutzeffekt arbeitet, und daß der kommerzielle Wirkungsgrad einer Kraftübertragunsganlage zum mindesten 60% beträgt.

Wo, wie in Gebirgsgegenden, konstante Wasserläufe zur Verfügung stehen, erscheint eine elektrische Übertragung und Zentralisierung der Energieerzeugung noch mehr geboten. Größere Entfernungen spielen heutzutage hierbei gar keine Rolle, denn die Möglichkeit, anstandslos hohe Spannungen zu erzeugen, stellt größere Energieverluste ganz in den Hintergrund. Früher, als nur Gleichstrom in Verwendung kam, war natürlich an eine größere Länge der Kraftübertragung gar nicht zu denken, denn wir wissen ja, daß sich derselbe äußerst schwer auf eine höhere Spannung bringen läßt.

Wir wollen es versuchen, uns an der Hand eines Beispieles darüber ein Bild zu schaffen, wie sich die Verhältnisse, namentlich was den Kostenpunkt anbelangt, gestalten, wenn man niedrigen, und das andere Mal einen hochgespannten Strom auf eine weite Entfernung fortleitet. Angenommen wir hätten auf eine Entfernung von 12 *km* eine elektrische Energie von 250 PS bei 1000 Volt Spannung zu übertragen. Der Generator ist eine Gleichstrommaschine. Der Spannungsverlust in den Leitungen soll 10% nicht überschreiten.

Bei einer Spannung von 1000 Volt sind zur Erzeugung von 250 PS = 184.000 Watt rund 185 Ampère erforderlich, welche in der Leitung fortzubringen sind. Der Spannungsabfall soll 10% betragen, das sind also 100 Volt

$$100 = 185 \times w; \quad w = \frac{100}{185} = 0{\cdot}545\ \Omega$$

d. h. soviel Ohm darf der Leitungswiderstand höchstens betragen.

$$w = \frac{c \times l}{f} = \frac{0{\cdot}02 \times 2 \times 12.000}{f}$$ daraus der Draht-

querschnitt $f = 887\ mm^2$, was einem Durchmesser von rund 33·5 *mm* entspricht! Man denke sich zwei solche Kupferstangen von je 12 *km* nebeneinander geführt! Das ist ein Kupfergewicht von 190.528 *kg*; bei einem Kupferpreis von ungefähr 2·30 *K* würde die Leitung allein 435.214·— *K* kosten.

Eine höhere Spannung würde den Querschnitt und somit auch die Kosten vermindern, jedoch läßt sie sich bei Gleichstrom schwer erzeugen. In einem solchen Falle bringt uns der Wechselstrom leicht aus der Verlegenheit. Wählen wir daher zur Lösung unserer Aufgabe Wechselstrom, und zwar Drehstrom, und einen Draht von 5 *mm* Durchmesser. Derselbe hat bei 36 *km* Länge ein Gewicht von 6326 *kg* und würde bei dem oben angesetzten Preise 14.559·— *K* kosten; also ein gewaltiger Unterschied!

Nach der Tabelle auf Seite 57 kann ein Draht von 5 *mm* Durchmesser, d. i. 19.635 mit rund 70 Ampère belastet werden. Welche verkettete Spannung wird zur Fortbringung dieser Strommenge notwendig sein? (Ein Spannungsverlust von 10% vorausgesetzt.) Aus der bekannten Formel für den Leitungsquerschnitt einer Drehstromanlage mit Motorbetrieb berechnen wir uns den Spannungsverlust:

$$e = \frac{I \times l}{40\,q} = \frac{70 \times 12.000}{40 \times 19.635} \cong 1080 \text{ Volt.}$$

Der Ohmsche Widerstand einer Drahtlänge ist

$$w = \frac{c \times l}{f} = \frac{0{\cdot}018 \times 12.000}{19.635} = 11\ \Omega.$$

Der hier soeben berechnete Spannungsverlust stellt die angesetzten 10% vor, also muß die Leitungsspannung 10.800 Volt betragen. Berechnet man auf Grund derselben unter Zugrundelegung der Leistung von 250 PS die Stromintensität, so bekommt man:

$$\text{PS} = E \times I \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$$

$$184.000 = 10.800 \times I \times 1{\cdot}73 \times 0{\cdot}8 \text{ und daraus } I =$$

$$12{\cdot}3 \text{ Ampère.}$$

Im Verhältnisse zur Stromstärke ist die Drahtstärke von 5 *mm* viel zu groß. Es läßt sich aber an derselben nichts weiter ändern, denn sonst würden wir den Widerstand und damit auch den Spannungsverlust vergrößern. Umgekehrt wird durch die Annahme der kleinen Stromstärke der Spannungsverlust noch unter die angenommenen 10% vermindert, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Formel $e = \frac{I \times l}{40\,q}$ zu Hilfe nimmt. Er ergibt sich mit bloß 180 Volt! Diesen Wert bekommt man ungefähr auch dann, wenn man das Ohmsche Gesetz anwendet:

$$e = I \times w \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$$

$= 12{\cdot}3 \times 11 \times 1{\cdot}73 \times 0{\cdot}8 = 187$ Volt; das sind also mit Rücksicht auf die oben angenommene Spannung bloß 1·7% Leitungsverlust.

Bestehen wir nun darauf, daß der Spannungsverlust bis 10% betragen darf, so kann man den Drahtquerschnitt entsprechend ändern, also vermindern; oder behalten wir die bisher bestimmten Größen alle bei, so gewinnen wir an Energie um 8·3% an der Verbrauchstelle mehr. Im ersteren Falle ist es eine einmalige Ersparnis an Investitionsauslagen, im zweiten Falle ein Mehrgewinn an Energie.

Durch einige, in oben angegebener Weise ausgeführte Versuchsrechnungen wird man bald auf einen goldenen Mittelweg gelangen, also eine Art Kompromiß zwischen Investion und Energieverlust in den Leitungen erzielen.

In Wirklichkeit ist bei Drehstrom der Spannungsverlust etwas anders, denn man muß hier noch die Selbstinduktion langer Luftleitungen mit in Betracht ziehen. Es spielen bei den Verlusten die Querschnitte, die Abstände der einzelnen Leitungen voneinander, sowie die Periodenzahl des Drehstromes eine nicht unwesentliche Rolle. Auf unsere Aufgabe aber, ein Bild über den wirtschaftlichen Vorteil eines hochgespannten Stromes zu erlangen, üben diese Nebenumstände keinen besonderen Einfluß aus.

Die hohe Spannung braucht uns gar keine weiteren Bedenken zu erregen, denn an der Verbrauchsstelle läßt sie sich ja beliebig in eine niedrigere transformieren.

Die Herstellung gut isolierter Leitungen bringt es in neuester Zeit mit sich, daß man ohne Bedenken für eine etwaige Mehrgefahr auch hochgespannten Strom direkt in der Grube verwendet. So sind auf einigen Grubenbetrieben Drehstrommotoren in Verwendung, welche direkt mit Strom von 2000 Volt gespeist werden. Es werden in solchen Fällen zu Streckenleitungen ausschließlich Kabel verwendet und es scheinen sich in dieser Beziehung insbesondere die sogenannten Papierkabel von Siemens & Halske gut zu bewähren.

Elektrische Energie läßt sich für alle Betriebe gut verwenden; nur wird es sich in den einzelnen Fällen darum handeln, ob man die Erzeugung derselben zentralisieren soll oder ob es nicht manchmal zweckmäßiger wäre, für einige derselben separate Stromquellen zu schaffen. So beispielsweise in solchen Fällen, wo es sich um eine ausgedehntere Beleuchtung der Anlage handelt, wo also vor allem ein ruhiges, gleichmäßiges Licht angestrebt werden soll, ist es oft nicht zulässig, dasselbe von einer Stromquelle zu besorgen, die infolge eines stark wechselnden Motorbetriebes starken Schwankungen ausgesetzt ist. In solchen Fällen ist es ratsam, für dieselbe eine eigene Dynamomaschine mit einer besonderen Präzisionsdampfmaschine aufzustellen, womöglich selbstverständlich in einem Maschinenraum neben anderen Betriebsmaschinen, um eine separate Bedienung zu ersparen. Bei hochgespanntem Drehstrom, wo also für die Beleuchtung eine oft starke Transformation notwendig ist, sind die vom Motorbetrieb herrührenden Schwankungen unbedeutend, da der Transformator eine Dämpfung der Spannungsschwankungen bewirkt, weil ja vom Großen ins Kleine übertragen wird, womit auch die Fehler im Sekundärkreis kleiner ausfallen. Auch hängen diese Schwankungen viel vom Regulator der Dampfmaschine ab; bei derselben Tourenzahl sind Spannungsschwankungen am Generator auch bei stärkeren Belastungsänderungen kaum zu merken. Besonders tritt

dies beim Parallelbetrieb von größeren Maschinen in den Vordergrund. In solchen Fällen kann man direkt mit der Beleuchtung an die Zentrale, natürlich unter Verwendung von Transformatoren, anschließen.

Mit Rücksicht auf diese Schwankungen werden den Generatoren auch oft große Schwungmassen gegeben, welche den Dampfregulator ausgiebig unterstützen.

Bei Gleichstrom lassen sich starke Schwankungen durch Benutzung von sogenannten „Pufferbatterien" (Akkumulatoren) noch besser ausgleichen, nur wird dieses System beim Bergbau noch wenig praktiziert. Im regelmäßigen Gebrauch findet man sie bei städtischen Zentralen.

Die größere Tourenzahl elektrischer Motoren ist für manche Zwecke besonders gut geeignet, so beispielsweise für Zentrifugalpumpen, Ventilatoren etc. Anderseits hat dieselbe dazu beigetragen, daß beispielsweise Pumpen durch eine besondere Konstruktion diesen Geschwindigkeiten ebenfalls möglichst angepaßt wurden und umgekehrt wieder werden für große Pumpen, um jedes lästige, den Betrieb oft störende Vorgelege zu vermeiden, Motoren mit entsprechend geringer Tourenzahl konstruiert, um sie direkt mit der Pumpe kuppeln zu können. Es bestehen einige große Grubenwasserhaltungen mit Drehstrombetrieb, wobei der Rotor direkt auf der Pumpen- (Kurbel-) Welle angebracht ist. Der Strom wird in der Zentrale von einer separaten Drehstrommaschine erzeugt. Die Einrichtung ist so getroffen, daß das Anlassen des Motors gleichzeitig mit dem Generator vorgenommen wird (der Motor ist also immer eingeschaltet), so daß das Angehen und die Belastung der Anlage eine allmähliche, stoßfreie ist. Das Abstellen geschieht genau in derselben Art, also durch Absperren der Dampfzufuhr bei der Dampfmaschine. Die Verständigung der unterirdischen Maschine mit der Zentrale geschieht mittels des Telephons. Ist ein rasches Abstellen notwendig, so kann dasselbe direkt aus der Grube seitens des Pumpenwärters selbst mittels einer eigenen Einrichtung an der Dampfmaschine vorgenommen werden.

Ein wichtiges Kapitel bilden heutzutage beim Bergbaubetrieb auch die elektrisch betriebenen Gesteinsbohrmaschinen.

Man kann sie teilen in Solenoid-Stoßbohrmaschinen, Kurbelstoßmaschinen und Drehbohrmaschinen. Die Solenoidmaschinen sind in der Konstruktion einfach, da sie nur zwei hintereinander geschaltete, axial angeordnete Solenoide besitzen, in welchen infolge der Wechselwirkung von Wechselstrom ein Eisenkern ein- und ausgestoßen und mittels Sperr-Rad und -Klinke umgesetzt wird. Sie bedürfen aber zum Speisen eigener, sogenannter Spezialdynamos. Es sind dies Gleichstrommaschinen, die zufolge einer sinnreichen Anordnung von Bürsten außer Gleichstrom auch gleichzeitig Wechselstrom von niedriger Periodenzahl, trotz einer hohen Umlaufzahl des Ankers abzugeben imstande sind. Die Zuleitung zu den Bohrmaschinen erfordert drei Drähte, durch welche den beiden Spulen abwechselnd der Wechselstrom von niedriger Periodenzahl zugeführt wird.

Am verbreitetsten von diesem System ist derzeit die Marvinsche Maschine, ausgeführt von der Union-E. G. Sie hat einschließlich der Vorschubkurbel und des vorstehenden Kolbenkopfes eine Länge von rund 1200 *mm*, eine größte Breitedimension von 130 *mm* und wiegt samt Schlitten 92 *kg*.

Die Kurbelstoß-Bohrmaschinen haben zum Vor- und Rückstoßen einen Kurbelmechanismus und werden ebenso wie die Drehbohrmaschinen entweder mit Gleich- oder mit Drehstrom betrieben. Selbstverständlich fallen sie wegen der Antriebsmotoren schwerer aus, können aber leicht bis zu vier auf einem eigenen Bohrwagen aufmontiert, transportabel gemacht werden. Sie werden ebenfalls von der A. E. G.-Union Elektrizitätsgesellschaft und von den österreichischen Siemens-Schuckertwerken erzeugt.

Beide Systeme haben ihre Verfechter. Ihre ausgedehnte Verbreitung beim Bergbau, in Steinbrüchen und beim Tunnelbau gibt ihnen allen jedenfalls das beste Zeugnis für ihre Verwendbarkeit, denn sie stellen

den Luftbetrieb in Hintergrund und stehen zum mindesten ebenbürtig neben dem Wasser-Bohrbetrieb.

Der Zweck dieser Zeilen war es, den Leser mit den Elementen des elektrischen Betriebszweiges bekanntzumachen. Die Erweiterung des Gesichtsfeldes auf diesem Gebiete wird alsdann in Anbetracht der verschiedensten Spezialwerke und ausgezeichneten Fachzeitschriften nicht mehr schwer fallen.

Zu allererst handelt es sich natürlich darum, einen elektrischen Betrieb richtig und zweckmäßig anzulegen und denselben dann sachgemäß weiterzuführen. In letzterer Hinsicht wird man ausgiebig unterstützt, wenn man nur intelligente, gut bewährte Maschinenwärter anstellt. Ein die Maschinen längere Zeit bedienender aufgeweckter Mann dringt instinktiv immer tiefer in das Wesen des ihm anvertrauten Betriebsteiles ein und es ist zu unserem eigenen Vorteil unsere Pflicht und Schuldigkeit, den Mann durch öftere Belehrung vor falschen Ansichten zu bewahren. Es kann dies immer gelegentlich geschehen, bei irgend einer Manipulation, bei einer Reparatur (indem man den Grund der Havarie angibt), bei irgend einer außerordentlichen Erscheinung, die den Mann befremdet usf.

Sachregister.

A.

B.

D.

E.

Z.

DIE ELEKTRIZITÄT IM DIENSTE DER MENSCHHEIT.

Eine populäre Darstellung der magnetischen und elektrischen Naturkräfte und ihrer praktischen Anwendungen.

Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft bearbeitet von

Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.

Zweite, gänzlich neu bearbeitete Auflage. Mit 1000 Illustrationen. 80 Bogen. Groß-Oktav. Geheftet 15 *K* = 12 M. 50 Pf. In Original-Prachtband gebunden 18 *K* = 15 M.

DIE ELEKTRIZITÄT DES HIMMELS UND DER ERDE.

Von **Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.**

Mit 400 Illustrationen und Farbentafeln. 61 Bogen. Groß-Oktav. Geh. 12 *K* = 10 M. 80 Pf. In Original-Prachtband 14 *K* 40 *h* = 13 M.

DIE PHYSIKALISCHEN GRUNDSÄTZE

DER ELEKTRISCHEN KRAFTÜBERTRAGUNG.

Eine Einleitung in das Studium der Elektrotechnik.

Von **Josef Popper.**

Mit einer Figurentafel. 4 Bogen. Groß Oktav. Geheftet 1 *K* 60 *h* = 1 M. 50 Pf.

Elektrische Erscheinungen und Theorien. Kurzer Abriß eines Kurses von sieben Vorlesungen, abgehalten in der Royal Institution of Great Britain von John Tyndall. Mit des Autors Bewilligung in das Deutsche übertragen von Joseph v. Rosthorn. 7 Bogen. Oktav. Gebunden 2 *K* = 1 M. 80 Pf.

Das elektrische Potential oder Grundzüge der Elektrostatik. Von A. Serpieri, Professor der Physik an der Universität und dem Lyzeum zu Urbino. Aus dem Italienischen in das Deutsche übertragen von Dr. R. v. Reichenbach. Autorisierte Ausgabe. Mit 44 Abbildungen. 16 Bogen. Oktav. Geh. 3 *K* 30 *h* = 3 Mark.

Die atmosphärische Elektrizität. Von Luigi Palmieri. Mit Zustimmung des Verfassers aus dem Italienischen übersetzt von Heinr. Discher, k. k. Telegraphen-Offizial. Mit 8 Abbildungen. 4 Bogen. Oktav. Geheftet 1 *K* = 1 Mark.

Die mechanischen, elektrostatischen und elektromagnetischen absoluten Maße, mit Anwendung auf mehrfache Aufgaben. Elementar abgehandelt von Prof. A. Serpieri. Deutsch von Dr. R. v. Reichenbach. Autorisierte Ausgabe. 10 Bogen. Okt. Geh. 3 *K* 30 *h* = 3 M.

Vorträge über Elektrizität. Von John Tyndall. Mit des Autors Erlaubnis in das Deutsche übertragen von Joseph v. Rosthorn. Mit 58 Abbildungen. 10 Bogen. Oktav. Elegant gebunden 2 *K* 40 *h* = 2 M. 25 Pf.

DIE ELEKTRIZITÄT.

Eine kurze und verständliche Darstellung der Grundgesetze, sowie der Anwendungen der Elektrizität zur Kraftübertragung, Beleuchtung, Elektrometallurgie, Galvanoplastik, Telegraphie, Telephonie und im Signalwesen.

Sechste Auflage, vollständig neu bearbeitet von **Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.**

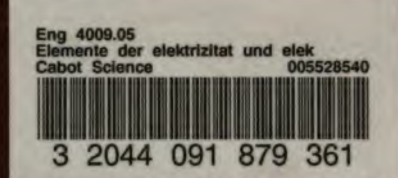
Ehemals von **Th. Schwartze, E. Japing** und **A. Wilke.**

Mit 163 Abbildungen. 10 Bogen. Oktav. Gebdn. 1 *K* 60 *h* = 1 M. 50 Pf.

A. Hartleben's Verlag in Wien und Leipzig.

This book should be returne[d to]
the Library on or before the last [date]
stamped below.
A fine of five cents a day is incurred
by retaining it beyond the specified
time.
Please return promptly.

JUL 21 1915.


Eng 4009.05
Elemente der elektrizitat und elek
Cabot Science 005528540
3 2044 091 879 361